ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ

ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

ЖУРНАЛ ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ УТВЕРЖДЕННЫХ ВАК РФ ИЗДАНИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИЙ ТРУДОВ СОИСКАТЕЛЕЙ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ

1 2015 (174)

СОДЕРЖАНИЕ

Современные технологии сборки

Иванов А.А. Структура стационарной сборки 3

Непомилуев В.В., Олейникова Е.В., Гусарова Н.И. Вероятностно-статистическая модель процесса индивидуального подбора деталей 8

Технологическая оснастка для сборки

Можегова Ю.Н. Точность автоматизированного контроля пористости материалов газодинамическим методом 14

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Безъязычный В.Ф., Непомилуев В.В. Возможные пути повышения качества изготовления изделий машиностроения 17

Королёв А.В., Нейгебауэр К.С. Исследование упрочняющей технологии раскатки дорожек качения шарикоподшипников 21

Марихов И.Н. Математическое моделирование надежности технических систем 24

Разборка. Ремонт

Харитонов Д.В., Поляков И.В., Киселев Ю.А., Королёв А.А., Серов Н.С. Особенности технологии разборки реактора с жидкометаллическим теплоносителем для обеспечения выгрузки тепловыделяющих сборок 27

Волков Д.И., Толкачев А.В. Снятие нагара с направляющих аппаратов газотурбинного двигателя с использованием виброабразивной обработки 32

В помощь конструктору, технологу

Труханов В.М., Крыхтин Ю.И. Повышение функциональных свойств многовального механизма передач и поворота с современными фрикционными материалами для легкой гусеничной машины 36

Питание сборочных линий. Комплектация, складирование. Упаковка

Королев А.В., Королев А.А., Мухина Е.В. Современный метод комплектования прецизионных изделий типа подшипников качения 42

Информация

Указатель статей, опубликованных в 2014 году 45

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индексы по каталогу "Роспечать" — **79748**, Объединенному каталогу "Пресса России" — **84967**, каталогу "Почта России" — **60257**) или непосредственно в издательстве

Тел.: (499) 269-54-92. Факс: (499) 269-48-97.

E-mail: sborka@mashin.ru

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "Сборка в машиностроени и, приборостроении", допускаются только с разрешения редакции и со ссылкой на источник информации.

Председатель редакционного совета

Ф.М. МИТЕНКОВ, *академик РАН*

Редакционный совет

МОСКВА

А.С. ВАСИЛЬЕВ (главный редактор), д.т.н., проф.
А.А. ГУСЕВ, д.т.н., проф.
М.В. ВАРТАНОВ, д.т.н., проф.
И.Н. ЗИНИНА, к.т.н., доц.
Ю.Л. ИВАНОВ, д.т.н.
Ю.Г. КОЗЫРЕВ, к.т.н.
А.И. КУМЕНКО, д.т.н., проф.
А.В. МЕДАРЬ, д.т.н.
Е.А. МИКРИН, д.т.н., акад. РАН
В.В. ПОРОШИН, д.т.н., проф.
Б.В. ШАНДРОВ, к.т.н., проф.
А.А. ШАТИЛОВ, к.т.н., доц.
А.Г. ХОЛОДКОВА, к.т.н., проф.
Г.А. ЯРКОВ, инж.

Региональные редсоветы

БЕЛГОРОД

Н.А. ПЕЛИПЕНКО, д.т.н.

БРЯНСК

О.А. ГОРЛЕНКО, д.т.н., проф.

ВЛАДИВОСТОК

Ю.Н. КУЛЬЧИКН, д.т.н., чл.-кор. РАН
А.А. СУПОНЯ, к.т.н.

ВОЛГОГРАД

В.Г. КАРАБАНЬ, к.т.н., доц.
М.Г. КРИСТАЛЬ, д.т.н., проф.
В.И. ЛЫСАК, д.т.н., проф., чл.-кор. РАН
В.М. ТРУХАНОВ, д.т.н., проф.

ИЖЕВСК

И.В. АБРАМОВ, д.т.н., проф.
Б.А. ЯКИМОВИЧ, д.т.н., проф.
В.Г. ОСЕТРОВ, д.т.н., проф.

КАЗАНЬ

Р.И. АДГАМОВ, д.т.н., проф.

КОВРОВ

Ю.З. ЖИТНИКОВ, д.т.н., проф.

КОЛОМНА

Ю.Д. АМИРОВ, д.т.н., проф.

КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ

Б.Н. МАРЬИН, д.т.н.
В.И. ШПОРТ, д.т.н., проф.
А.М. ШПИЛЕВ, д.т.н., проф.

НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ

С.В. ДМИТРИЕВ, д.т.н.
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ, к.т.н.

НИЖНИЙ НОВГОРОД

С.В. ГОЛУБЕВ, инж.

ОМСК

В.Н. КОСТЮКОВ, д.т.н.

ОРЕЛ

Ю.С. СТЕПАНОВ, д.т.н., проф.
Г.А. ХАРЛАМОВ, д.т.н., проф.

ОРЕНБУРГ

А.Н. ПОЛЯКОВ, д.т.н., проф.
А.И. СЕРДЮК, д.т.н., проф.
А.П. ФОТ, д.т.н., проф.

РЫБИНСК

В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ, д.т.н., проф.
В.В. НЕПОМИЛУЕВ, д.т.н., проф.
А.Н. СЕМЕНОВ, д.т.н., проф.

САМАРА

М.А. ЕВДОКИМОВ, д.п.н., проф.
Ю.А. ВАШУКОВ, к.т.н., доц.
В.А. НИКОЛАЕВ, к.т.н., проф.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

В.Ф. КУЗЬМИН, к.т.н.
Е.В. ШАЛОБАЕВ, к.т.н., проф.

СЕВАСТОПОЛЬ

Е.Л. ПЕРВУХИНА, д.т.н., проф.

ТОЛЬЯТТИ

А.И. РЫЖКОВ, к.т.н.

ТУЛА

В.В. ПРЕЙС, д.т.н., проф.

ХАБАРОВСК

В.А. ЛАШКО, д.т.н., проф.

Украина

КИЕВ

А.С. ЗЕНКИН, д.т.н., проф.
В.А. МАТВИЕНКО, к.т.н.

ДОНЕЦК

А.Н. МИХАЙЛОВ, д.т.н., проф.

Беларусь

МИНСК

В.Л. БАСИНЮК, д.т.н.
М.Л. ХЕЙФЕЦ, д.т.н., проф.

ГОМЕЛЬ

В.Е. СТРАЖИНСКИЙ, д.т.н.

ПОЛЬША

П. ЛЕБКОВСКИ, д.т.н.
Е. ЛУНАРСКИ, д.т.н.

Ответственные за подготовку и выпуск номера:

Ю.А. ЧИЧОВ, И.М. ГЛИКМАН

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № 77-1747 от 25 февраля 2000 г.

© Издательство "Машиностроение", "Сборка в машиностроении, приборостроении", 2015

THE MONTHLY
JOURNAL
FOR SCIENTISTS
AND MANUFACTURERS

ASSEMBLING
IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKING

THE JOURNAL IS PUBLISHED UNDER THE PATRONAGE OF INTERNATIONAL UNION OF MECHANICAL ENGINEERING

THE JOURNAL IS AMONG THOSE APPROVED BY RF FOR DISSERTATION PUBLICATION

1 2015
(174)

CONTENTS

Modern technologies in assembly

Ivanov A.A. The structure of the stationary assembly 3
Nepomiluev V.V., Oleynikova E.V., Gusarova N.I. Mathematical modeling of the component selection during assembly 8

Technological equipment for assembly

Mozhegova Yu. N. The accuracy of the automated control thematerials porosity by gas-dynamic method 14

Quality assurance. Testing. Monitoring

Bezjazychnyi V.F., Nepomiluev V.V. Analisys of the possibility of improving machine building quality 17
Korolev A.V., Neigebauer K.S. Studystrengthening technology rolling ball bearring raceways 21
Marihov I.N. Mathematical simulation of reliability the technical systems 24

The dismantling. Repair

Kharitonov D.V., Polyakov I.V., Kiselev Yu.A., Korolev A.A., Serov N.S. Liquid-metal reactor disassembling process features to ensure fuel assembly unloading 27
Volkov D.I., Tolkachev A.V. Removal of pollution from distributors of gas turbine with use of vibration polishing. 32

Industrial and design engineer's aid

Trukhanov V.M., Krikhtin Yu.I. The increase of functional properties of multi shaft of the transmission mechanism and turn with modern friction materials for light tracked vehicles 36

Feeding of assembly lines. packaging arrangement. Stocking. Packing

Korolev A.V., Korolev A.A., Mukhina E.V. Modern method of picking precision products type of rolling bearings. 42

Information

Index of articles published in 2014 45

Journal is distributed on subscription, whith can be issues in any post office (index on the catalogue of the "Rospechat" agency — **79748**, the union catalogue "Pressa Rossii" — **84967**, the catalogue "Pochta Rossii" — **60257**) or directly in editorial of the journal.
Ph.: (499) 269-54-92. Fax: (499) 269-48-97.
http://www. mashin.ru E-mail: sborka@machin.ru
The reference to the Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making Journal during reprint of the materials is mandatory.
Advertisers are responsible for the content of their advertisements.

Chair of Editorial Advisory Board —
Member of Russian Academy of Science
F.M. MITENKOV

Editors

MOSCOW

A.S. VASIL'EV (Chief editor)
M.V. VARTANOV
A.A. GUSEV
I.N. ZININA
Yu.L. IVANOV
Yu.G. KOZYREV
A.I. KUMENKO
A.V. MEDAR'
E.A. MIKRIN
V.V. POROSHIN
B.V. SHANDROV
A.A. SHATILOV
A.G. KHOLODKOVA
G.A. YARKOV

Regional editors

BELGOROD
N.A. PELIPENKO
BRIANSK
O.A. GORLENKO
VLADIVOSTOK
Yu.N. KULSHIN
A.A. SUPONIA
VOLGOGRAD
M.G. KRISTAL
V.G. KARABAN'
V.I. LYSAK
V.M. TRUKHANOV
IZHEVSK
I.V. ABRAMOV
B.A. YAKIMOVICH
V.G. OSETROV
KAZAN
R.I. ADGAMOV
KOVROV
Yu.Z. ZHITNIKOV
KOLOMNA
Yu.D. AMIROV
KOMSOMOLSK-ON-AMUR
B.N. MARJIN
V.I. SCHPORT
A.M. SHPILEV
NABEREZHNYE CHELNY
S.V. DMITRIEV
R.M. KHISAMUTDINOV
NIZHNY NOVGOROD
S.V. GOLUBEV
OMSK
V.N. KOSTIUKOV
OREL
Yu.S. STEPANOV
G.A. KHARLAMOV
ORENBURG
A.N. POLYAKOV
A.I. SERDUK
A.P. FOT
RYBINSK
V.F. BEZIAZYSHNY
V.V. NEPOMILUEV
A.N. SEMENOV
SAMARA
M.A. EVDOKIMOV
Yu.A. VASHUKOV
V.A. NIKOLAEV
ST.-PETERSBURG
V.F. KUZMIN
E.V. SHALOBAEV
SEVASTOPOL
E.L. PERVUKHINA
TOLIATI
A.I. RYZHKOV
TULA
A.I. PREYS
KHABAROVSK
V.A. LASHKO

Ukraine

KIEV
A.S. ZENKIN
V.A. MATVIENKO
DONETSK
A.N. MIKHAILOV

Belarus

MINSK
V.L. BASINJUK
M.L. KHEIFETZ
GOMEL
V.E. STARZHINSKI
POLAND
P.LEBKOVSKI
E. LUNARSKI

Executive editors of current issue:
Yu.A. CHICHOV, I.M. GLIKMAN

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-radio Broadcasting and Mass Communications Media.
Registration certificate IE . 77-1747, February 25, 2000

© "Mashinostroenie Publishers", "Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making", 2015

УДК 658.527.011

А.А. Иванов, *д-р техн. наук*
(*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева*)
E-mail: ivanov_aa@nntu.nnov

Структура стационарной сборки

Показано, что стационарная сборка обычно реализуется в виде сборочного центра, включающего базовый комплект, операционный накопитель и систему управления. Такой сборочный центр представляет собой автономный сборочный модуль, который служит основой для формирования сборочных комплексов, линий и участков. Для сборки крупногабаритных изделий на базе сборочного центра формируют структуру групповой поточной сборки. В серийном производстве часто используют вариант стационарной сборки, построенной по циклонезависимой схеме, в которой цикл работы каждого оператора не зависит от остальных.

It is shown that the stationary assembly is usually realized as an assembly center which includes the basic kit, the operational storage and the control system. Such assembly center is an autonomous module which serves as the basis for the formation of the assembly complexes, lines and sections. The structure of group assembly line based on the assembly center is formed for the assembly of the large products. The variant of the stationary assembly based on the cycle-independent scheme is used in the serial production. In this scheme the cycle of the work of each operator does not depend on other ones.

Ключевые слова: стационарная сборка, сборочный центр, сборочный модуль, базовый комплект.

Keywords: stationary assembly, assembly center, assembly line, basic kit.

Структура сборочных систем во многом определяется организационной формой технологического процесса сборки, которая может быть *стационарной* или *подвижной*. Основными факторами, определяющими организационную форму автоматической сборки, являются:

- конструктивно-технологическая характеристика объектов сборки;
- тип производства;
- годовая программа выпуска изделий;
- длительность сборочного цикла;
- трудоемкость сборки объекта [1, 2].

Стационарная сборка обычно реализуется в виде *сборочного центра* (СЦ). В состав СЦ (а также сборочной линии) входит базовый комплект (БК), который включает:

- сборочную головку (СГ);
- устройство загрузки-выгрузки (УЗВ);
- транспортную систему (ТС);
- координатную систему точного позиционирования.

Базовый комплект с операционным накопителем (ОН) деталей и системой управления (СУ) представляет собой автономный сборочный модуль (СМ), который служит основой для формирования сборочных комплексов, линий и участков (рис. 1). Связь СМ с внешним миром осуществляет транспортный робот (ТР), показанный на схеме фрагмента сборочного участка (рис. 2).

Классическая компоновка СЦ для сборки минимального узла из двух деталей представлена на схеме (рис. 3). Для сборки более сложных узлов эволюция этого СЦ идет в направлении увеличения постов загрузки, числа ПР, оснащения центра накопителем сменного инструмента и т.п. (рис. 4). С целью выполнения сложных операций с участием человека в СЦ встраивают автоматизированные рабочие места (АРМ). Компоновка типового АРМ показана на рис. 5.

Для сборки некрупных узлов подходит компоновка СЦ фирмы Бош (Германия) с подвесным роботом *1* (рис. 6), транспортером спутни-

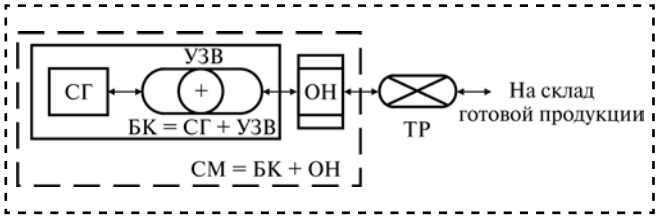


Рис. 1. Базовый комплект в составе СМ

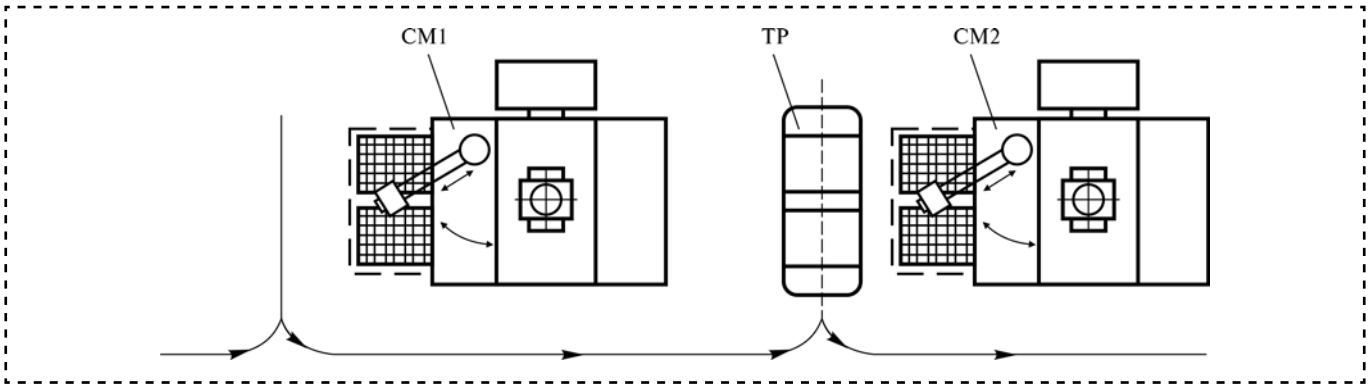


Рис. 2. Фрагмент сборочного участка из двух сборочных модулей СМ

ков *2*, бункерными загрузочными устройствами *4* и кассетным накопителем *3*. Такой СЦ представляет собой автономный модуль, который при необходимости может встраиваться в сборочную линию.

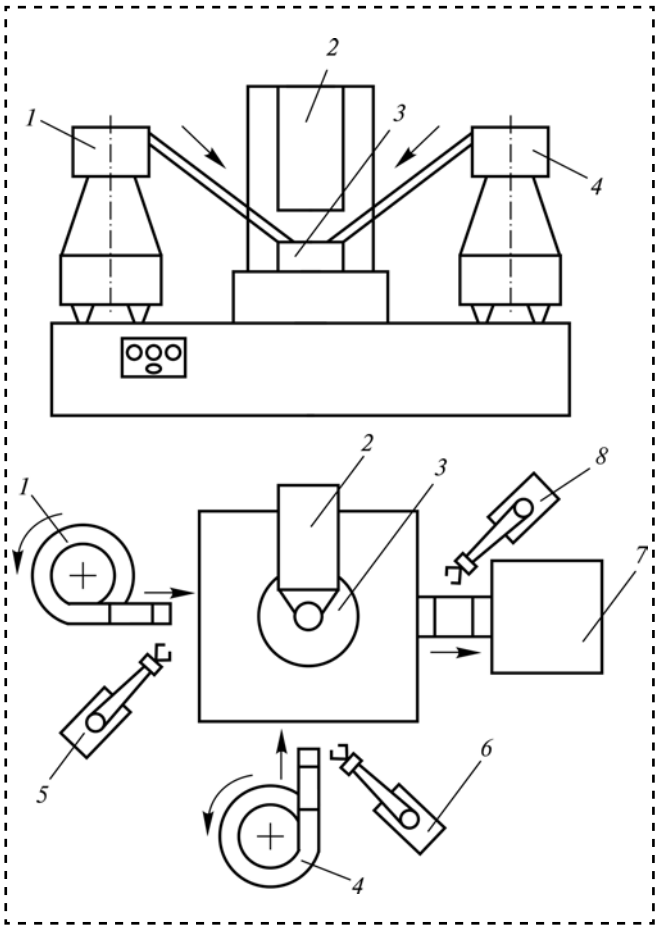


Рис. 3. Компоновка сборочного центра для сборки минимального узла из двух деталей:
1, 4 — бункерные загрузочно-ориентирующие устройства; *2* — сборочная головка; *3* — устройство базирования деталей; *5, 6* — загрузочные манипуляторы; *7* — накопитель собранных узлов; *8* — разгрузочный манипулятор

На рис. 7 показана примерная компоновка СЦ для сборки крупногабаритных изделий, который состоит из сборочного поста *2*, двух напольных сборочных роботов *4*, подвесного робота *5* для установки базовой детали *6* и транспортера *1* кассет *3* с деталями. Базовая деталь доставляется к СЦ транспортным роботом (тележкой) *7*.

Цикловая производительность СЦ рассчитывается по формуле [1]

$$Q_{\text{СЦ}} = \eta / t_{\text{ц}},$$

где η — коэффициент использования СЦ: η = = 0,96...0,98;

$t_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^{n} t_i$ — длительность цикла сборки одного изделия; t_i — длительность i-й сборочной операции; n — число сборочных операций (или число деталей в узле).

Поскольку СЦ реализует последовательную схему сборки, его производительность быстро падает с ростом n. Это хорошо видно на циклограмме работы СЦ (рис. 8). Поэтому СЦ может быть рекомендован для сборки узлов, состоящих в среднем из $n_{\text{ср}} = 7$ деталей ($n_{\max}$ = = 10—12 деталей). Преимущество СЦ — достижение более высокой точности сборки из-за постоянства базирования деталей. Кроме того, СЦ характеризуются концентрацией операций на одной позиции и повышенной универсальностью.

Сборка на СЦ сложных изделий (с $n \gg 7$ деталей) может быть реализована на участке, включающем СЦУ *3* для узловой сборки и СЦИ *1* для финишной сборки изделия с загрузочны-

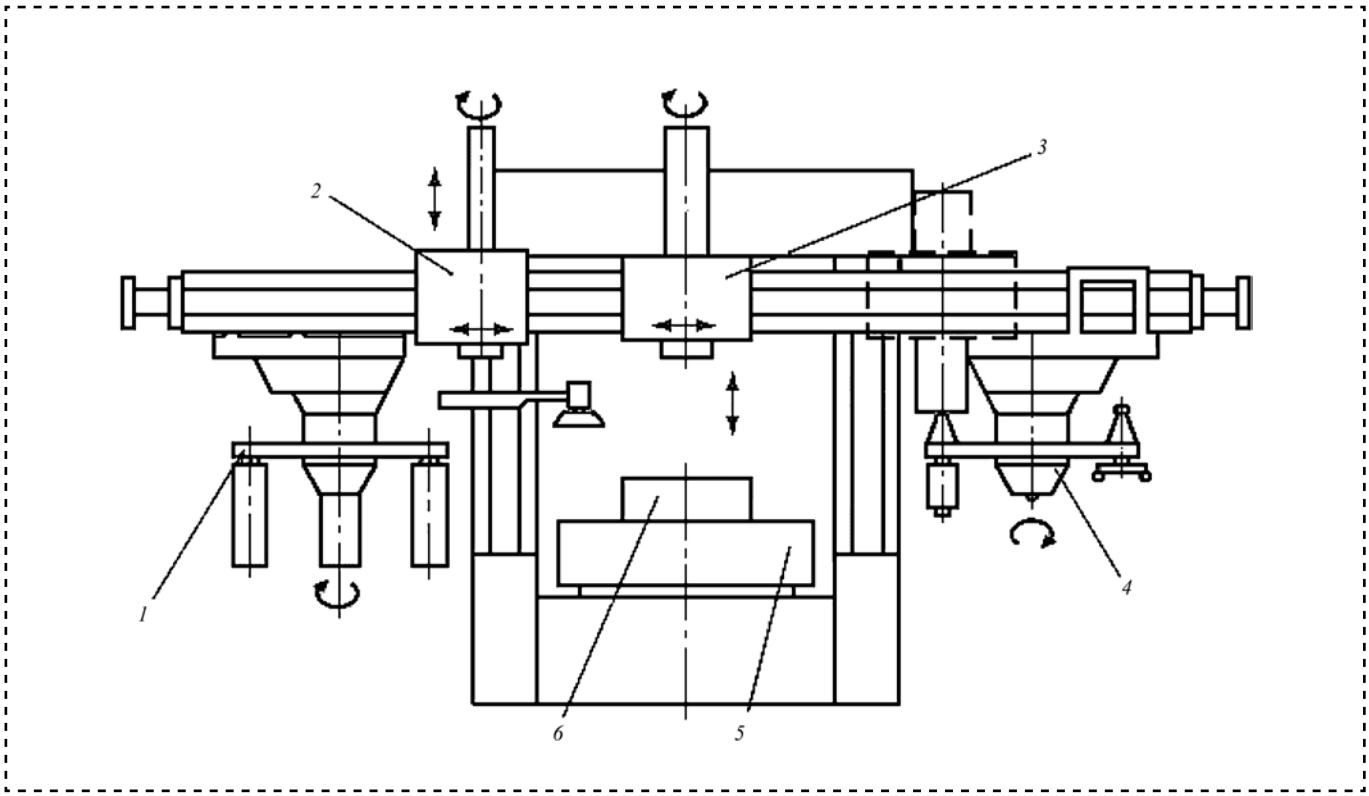


Рис. 4. Компоновка сборочного центра с магазинами деталей и инструментов:
1 — магазин деталей; *2* — загрузочный робот; *3* — сборочная головка; *4* — магазин инструментов; *5* — поворотный стол; *6* — устройство базирования деталей

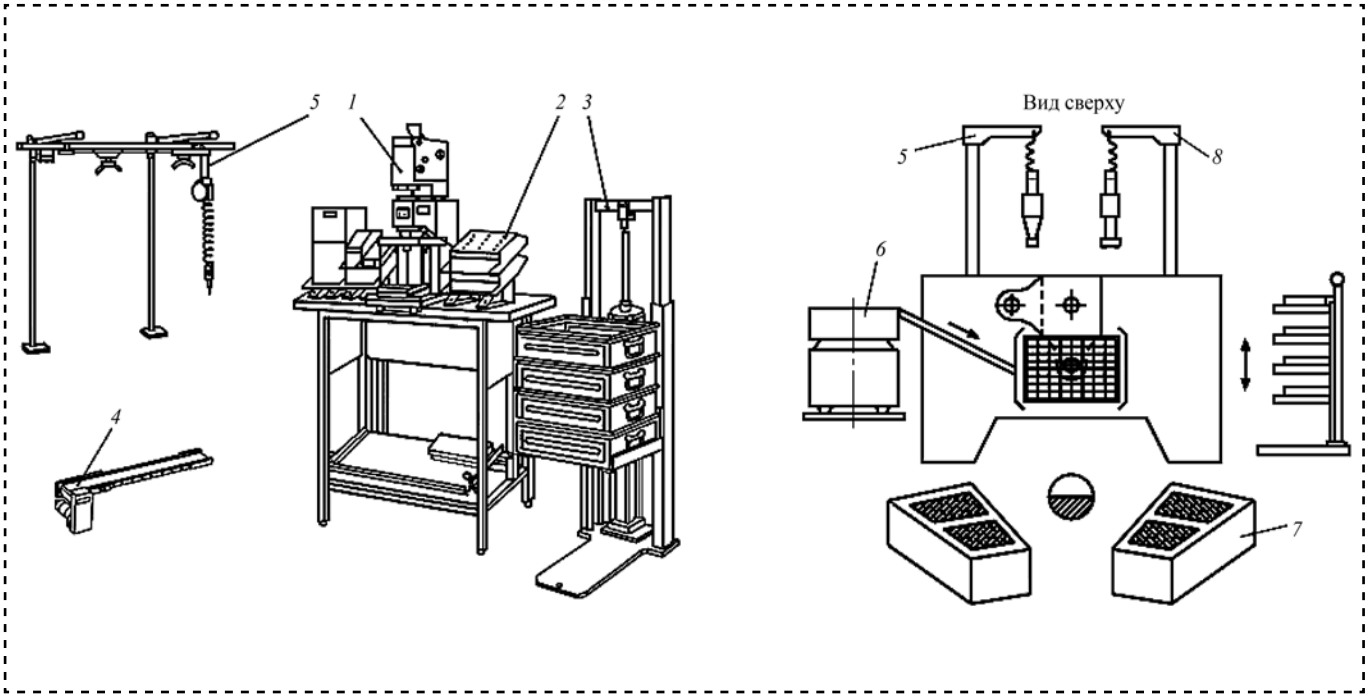


Рис. 5. Компоновка автоматизированного рабочего места:
1 — сборочная головка; *2* — кассетный накопитель деталей; *3* — подъемник; *4* — транспортер; *5* — отвертка; *6* — бункерное загрузочное устройство; *7* — тара; *8* — гайковерт

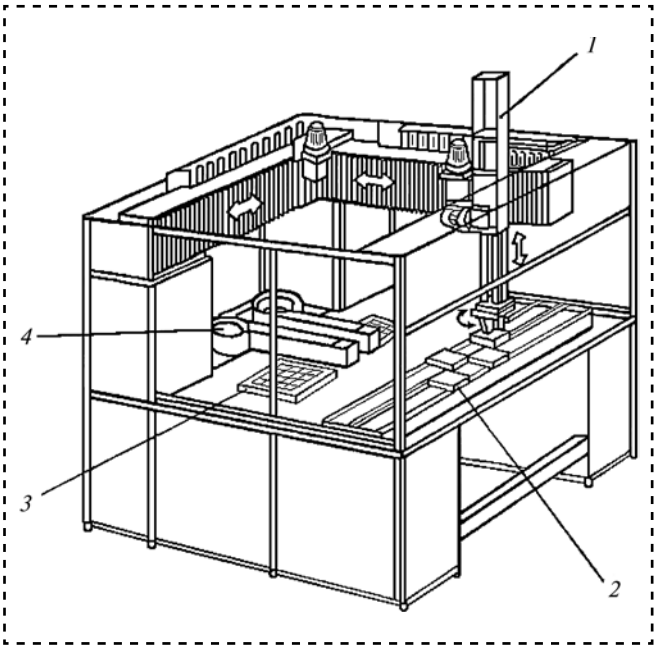


Рис. 6. Компоновка сборочного центра для сборки малогабаритных изделий (фирма "Бош", Германия)

ми устройствами *2* (рис. 9). Для этого изделие разделяют на узлы примерно равной трудоемкости. Собранные на СЦУ узлы по транспортной системе поступают на СЦИ для финишной сборки изделий. На данном участке узловая и финишная сборка производится одновременно, благодаря чему реализуется последовательно-параллельная схема, позволяющая значительно снизить $t_ц$ (т.е. повысить производительность финишной сборки $Q_ф$).

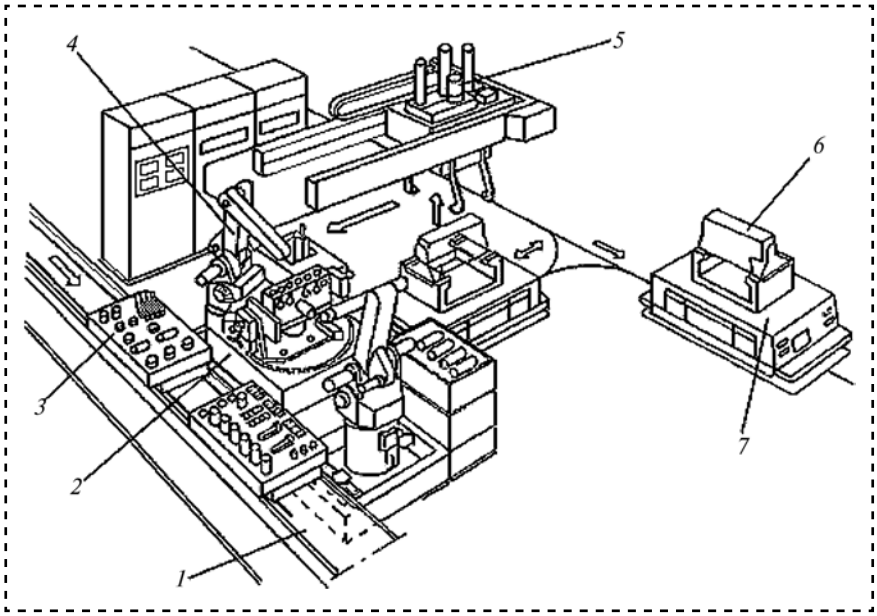


Рис. 7. Компоновка сборочного центра для сборки крупногабаритных изделий

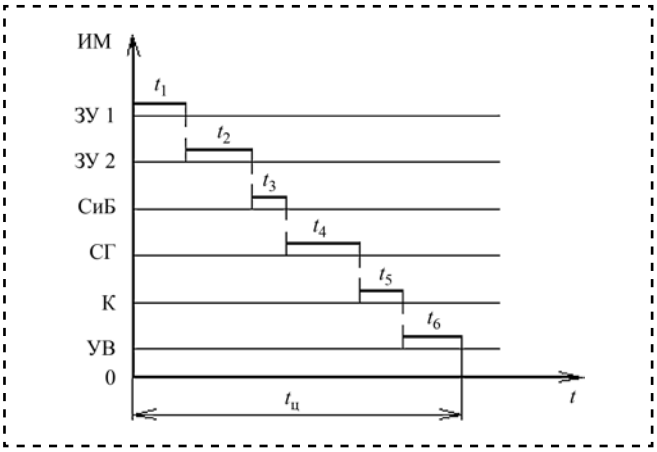


Рис. 8. Циклограмма работы сборочного центра:
ИМ — исполнительные механизмы; ЗУ — загрузочное устройство; СиБ — совмещение и базирование; СГ — сборочная головка; К — контроль; УВ — устройство выгрузки

Если СЦУ имеют запас по производительности, то они могут снабжать более одного СЦИ. В противном случае для каждого СЦИ предусматривают свой СЦУ. Для бесперебойной работы СЦИ вначале должен быть создан запас узлов. Подобные структуры целесообразны в среднесерийном производстве крупных сложных изделий [2, 3].

Для сборки крупногабаритных изделий машиностроения (тяжелые станки, уникальные прессы, турбины, летательные аппараты и т.п.) используют структуру сборочного участка из ряда СЦ, не связанных транспортной системой. На каждом СЦ бригада рабочих выполняет определенный комплекс работ, последовательно переходя от одного СЦ к другому (рис. 10).

Эта структура стационарной сборки называется *групповой поточной сборкой.* Необходимые комплектующие подают к СЦ с помощью транспортно-накопительной системы (ТНС).

Достаточно популярным (особенно за рубежом) является вариант стационарной сборки малогабаритных изделий в серийном производстве, построенной по *циклонезависимой* схеме. Структура такого участка включает конвейер спутников *5* и необходимое число СЦ (на базе АРМ *1—3*), на кото-

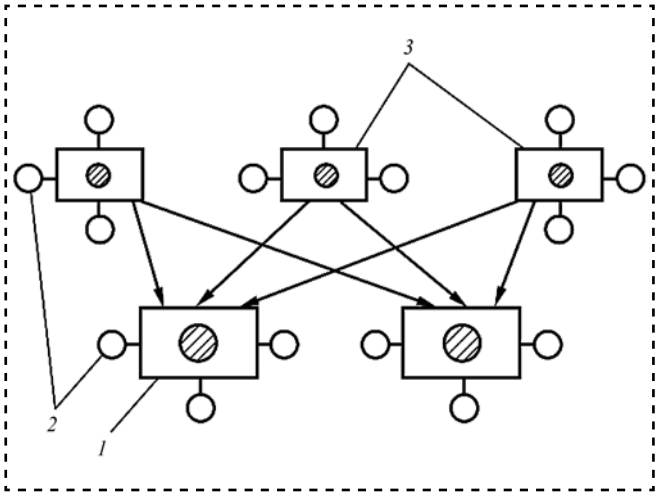


Рис. 9. Структура участка на базе сборочных центров узловой и финишной сборки изделий:
1 — СЦ изделий (СЦИ); *2* — АЗУ; *3* — СЦ узлов (СЦУ)

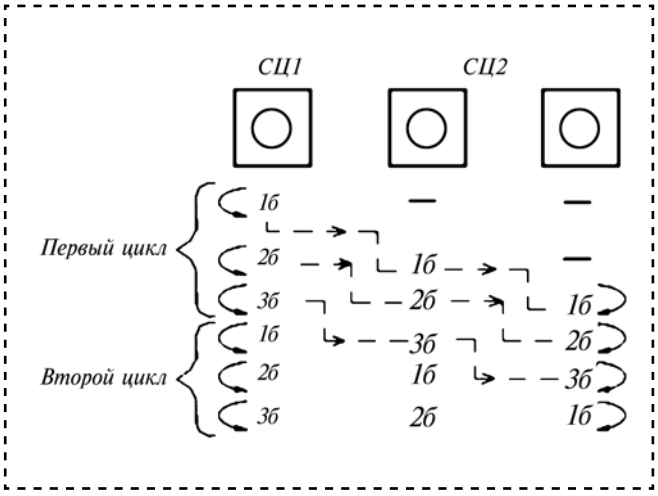


Рис. 10. Структура участка групповой поточной сборки на базе сборочных центров (СЦ):
1б, 2б, 3б — номера бригад рабочих-сборщиков

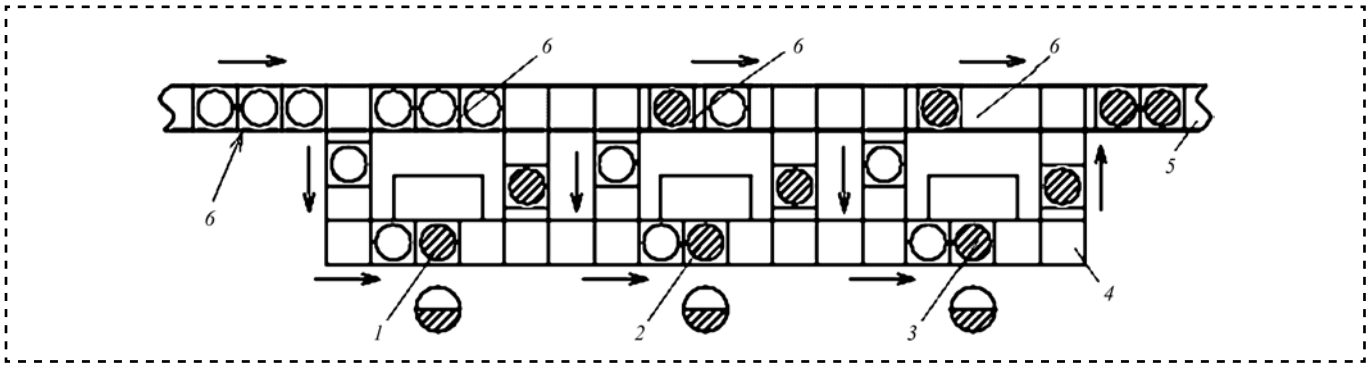


Рис. 11. Структура участка стационарной сборки, построенного по циклонезависимой схеме:
1—3 — АРМ; *4* — основной конвейер; *5* — вспомогательная транспортная система; *6* — участки конвейера (накопители спутников)

рых операторы выполняют полную сборку изделия, причем цикл работы каждого оператора не зависит от остальных (рис. 11).

Циклонезависимой схеме присуща гибкость, так как она инвариантна к смене типов изделий и изменению числа деталей в узле. Каждый СЦ связан с основным конвейером *5* вспомогательной транспортной системой *4*, которая позволяет забирать спутник с конвейера и после сборки изделия отправлять его на конвейер. Участки *6* конвейера перед СЦ служат накопителями спутников.

Выводы

1. *В основе структуры стационарной сборки лежит сборочный центр (СЦ), реализующий последовательную схему сборки, при которой производительность зависит от числа деталей в узле. Для сборки крупногабаритных изделий машиностроения используется структура участка в виде групповой поточной сборки на базе СЦ.*

2. *Существует вариант стационарной сборки малогабаритных изделий в серийном производстве, построенной по циклонезависимой схеме, в которой операторы выполняют полную сборку изделия, причем цикл работы каждого оператора не зависит от остальных. Этой схеме присуща гибкость, так как она инвариантна к смене типов изделий и изменению числа деталей в узле.*

Библиографический список

1. Иванов А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: учеб. пособие. М.: Форум, 2011. 224 с.

2. Иванов А.А. Автоматизированные сборочные системы: учебник. М.: Форум, 2012. 336 с.

3. **Иванов А.А., Москвичев А.А.** Проектирование автоматизированного сборочного оборудования: учебное пособие. Н. Новгород: НГТУ. 2005. 124 с.

УДК 621:658.62.018.012

В.В. Непомилуев, *д-р техн. наук,* **Е.В. Олейникова, Н.И. Гусарова**, *канд. физ.-мат. наук*
(*Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева*)
E-mail: leona73@yandex.ru

Вероятностно-статистическая модель процесса индивидуального подбора деталей

Рассмотрены возможности повышения качества сборки в машиностроении путем использования компьютерных технологий и вероятностно-статистических моделей.

The possibility of improving the quality of the assembly in the machine building by using computer technology and probabilistic-statistical models was examines.

Ключевые слова: сборка, процесс, качество, размер, технология, вероятностно-статистическая модель.

Keywords: assembly, process, quality, size, technology, probabilistic-statistical model.

Введение

Параметры качества любого готового изделия характеризуются уровнем технологии и особенностью процессов сборки, которые являются завершающим и наиболее ответственным этапом производства какой-либо продукции.

Традиционно основным показателем качества сборки любого изделия является точность размеров, оцениваемая величиной погрешности.

Известно, что для повышения качества изготовления изделия необходимо стремиться к уменьшению вариабельности, т.е. разброса величины замыкающего звена.

Качество сборки традиционно обеспечивают методами взаимозаменяемости (полной, неполной или групповой) или компенсации (регулирования и пригонки). В традиционных методах в образовании сборочного соединения участвуют случайно выбранные рабочим-сборщиком детали, изготовление которых осуществляется параллельно и независимо друг от друга, а процесс суммирования их погрешностей, следовательно, неуправляем. Параметры качества полученного соединения оценивают только после окончания сборочного процесса. Все корректирующие действия также предпринимают только после того, как процесс сборки уже завершен [1].

Для повышения качества сборки при использовании традиционных методов необходимо уменьшать допуски на составляющие звенья размерной цепи, что является трудноосуществимой задачей при наличии жестких требований к точности замыкающего звена, либо при большом количестве составляющих звеньев.

В тех случаях, когда требования к качеству изготовления деталей значительно превышают возможности современных методов обработки, для сборки высокоточных изделий часто используют метод индивидуального подбора деталей. Он основан на принципе предварительного подбора деталей до сборки таким образом, чтобы они в максимально возможной степени компенсировали погрешности друг друга. Точность, достигаемая этим методом, зависит от числа подбираемых звеньев в размерной цепи: чем большее число звеньев подбирают перед сборкой, тем выше достигаемая точность замыкающего звена. Управляемость процесса в этом случае обеспечивается введением выполняемой на компьютере дополнительной операции комплектации перед сборкой. В результате рабочий-сборщик получает указания, какие именно конкретные детали из имеющихся в его распоряжении и в каком относительном их расположении необходимо соединить в данном комплекте.

Для практического применения метода подбора необходима разработка метода расчетного определения достигаемой при его использовании точности. Для решения этой задачи было использовано математическое моделирование процесса образования погрешности при соединении двух деталей.

Схема сборочной размерной цепи

В качестве объекта для дальнейшего числового анализа было рассмотрено простейшее изделие, состоящее из двух деталей размером A_1 и A_2. Схема возникающей при сборке размерной цепи $A_\Delta = |A_1 - A_2|$ представлена на рис. 1. Необходимо обеспечить точность замыкающего звена $A_{\Delta ц}$. Целевое значение величины замыкающего звена равно нулю.

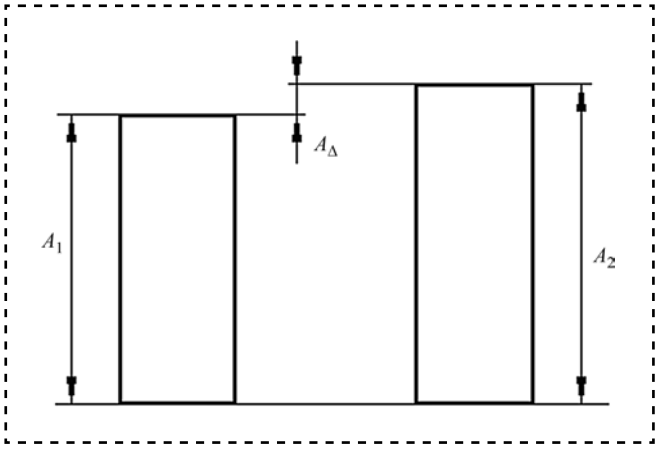


Рис. 1. Размерная цепь

Индивидуальный подбор деталей может быть осуществлен по различным алгоритмам, существенно различающимся по трудоемкости их осуществления. В данной работе рассмотрен алгоритм подбора, сущность которого заключается в следующем. Значения действительных размеров собираемых деталей A_{1i} и A_{2j}, находящихся в данный момент на сборочном складе, вносятся в базу данных компьютера. Для каждой детали A_{1i} — в порядке их расположения в базе данных и начиная с первой ($i = 1...l$) производят виртуальную сборку с каждой из имеющихся в базе данных сопрягаемых деталей A_{2j} ($j = 1...m$) и определяют величину замыкающего звена $A_{\Delta k}$ ($k = 1...lm$). Для каждого из имеющихся в базе данных значений размеров детали A_{1i} подбирают такой размер сопрягаемой детали A_{2j}, при котором величина образовавшегося замыкающего звена $A_{\Delta k}$ имеет минимальное отклонение от целевого значения $A_{\Delta ц}$. Вариант, для которого отклонение от заданного целевого значения $A_{\Delta ц}$ минимально, считается наилучшим, запоминается, а соответствующие ему величины A_{1i} и A_{2j} удаляются из базы данных. Затем процесс повторяется для следующей детали и т.д.

Описанный процесс математически можно интерпретировать следующим образом:

- имеются N_1 деталей A_1, действительные размеры которых являются случайной величиной, распределенной по нормальному закону на интервале (A_{1min}, A_{1max}), где A_{1min} и A_{1max} минимально и максимально допустимые размеры детали A_1;
- имеются N_2 деталей A_2, действительные размеры которых распределены по нормальному закону на интервале (A_{2min}, A_{2max}), где A_{2min} и A_{2max} — минимально и максимально допустимые размеры детали A_2;
- необходимо найти функцию зависимости максимального значения отклонения образовавшегося замыкающего звена $A_{\Delta k}$ от целевого значения $A_{\Delta ц}$.

При использовании метода подбора с помощью описанного ранее алгоритма для расчета образующейся погрешности замыкающего звена определяют:

1) число деталей A_1 и A_2, размеры которых находятся в пределах некоторого малого интервала (x, $x + \Delta x$);

2) средние расстояния от одного значения A_{1i} (или A_{2j}) до другого на интервале (x, $x + \Delta x$);

3) $A_{\Delta ij}$ — значение замыкающего звена для A_{1i} и полученного для него методом подбора соответствующего значения A_{2j} (рис. 2);

4) функциональную зависимость величины замыкающего звена $A_{\Delta ij}$ для наихудшего варианта сочетания размеров деталей A_{1i} и A_{2j};

5) функциональную зависимость величины замыкающего звена A_Δ для заданных выборок

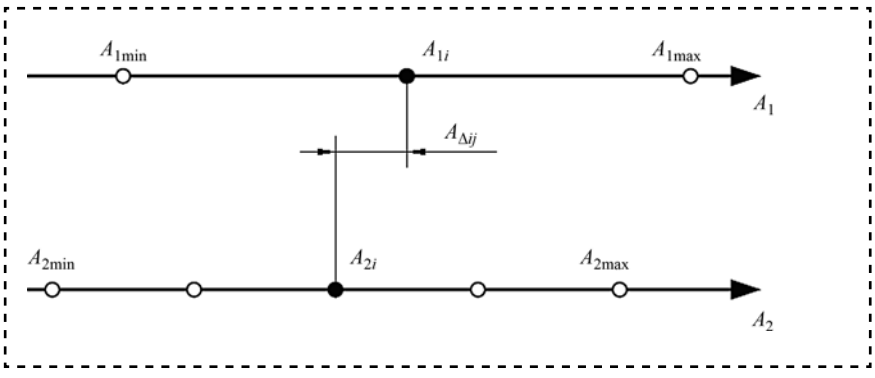


Рис. 2. Формирование замыкающего звена

при известных номинальных значениях размеров составляющих звеньев и их средних квадратических отклонений.

Математическая модель сборочной размерной цепи

1. Для решения задачи предположим, что имеется выборка деталей, размер которых — случайная величина, распределенная по нормальному закону со средним выборочным $\bar{x}$ и средним квадратическим отклонением σ. Объем выборки — N деталей. Определим число деталей на произвольном интервале $(x, x + \Delta x)$.

Вероятность попадания случайной величины в этот интервал [2]:

$$p(x, x+\Delta x) = \Phi\left(\frac{x+\Delta x-\bar{x}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{x-\bar{x}}{\sigma}\right),$$

где $\Phi(x)$ — функция Лапласа,

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^x e^{-\frac{z^2}{2}}dz,$$

т.е. $p(x, x+\Delta x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int\limits_{\frac{x-\bar{x}}{\sigma}}^{\frac{x+\Delta x-\bar{x}}{\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2}}dz.$

Наиболее вероятное число деталей n на интервале $(x, x + \Delta x)$

$$n = Np(x, x + \Delta x)$$

или

$$n = N\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int\limits_{\frac{x-\bar{x}}{\sigma}}^{\frac{x+\Delta x-\bar{x}}{\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2}}dz. \qquad (1)$$

2. Среднее расстояние (шаг) h от одного значения до другого на интервале $(x, x + \Delta x)$ шириной Δx:

$$h = \frac{\Delta x}{n+1}. \qquad (2)$$

3. Определим величину замыкающего звена для двух заданных выборок собираемых деталей объемом N_1, N_2 с известными средними выборочными $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$ и отклонениями σ_1, σ_2 соответственно, на интервале $(x, x + \Delta x)$.

Для этого необходимо определить $A_{\Delta ij}$ — величину замыкающего звена для какого-либо конкретного значения размера A_{1i} и полученного для него методом подбора соответствующего значения A_{2j}.

Пусть текущие значения размеров собираемой пары деталей $A_{1i} = x_1$, $A_{2j} = x_2$. Тогда текущее значение размера замыкающего звена:

$$A_{\Delta ij} = |A_{1i} - A_{2j}| = |x_1 - x_2|.$$

Очевидно, что в наилучшем случае, когда $x_1 = x_2$, величина $A_\Delta = 0$, и отклонение его от целевого значения также равно нулю, т.е. $\Delta A_\Delta = |A_\Delta - A_{\Delta ц}| = 0$.

Рассмотрим теперь самый плохой вариант такого подбора. Это случай, когда x_2 находится на максимально возможном расстоянии от x_1, т.е. на расстоянии половины длины между значениями второй выборки (рис. 3).

Очевидно, что

$$\begin{aligned} A_{\Delta\,\max} &= |x_1 - x_2|_{\max} = \\ &= \left|h_1 - \left(h_2 + \frac{h_2}{2}\right)\right| = \left|h_1 - \frac{3}{2}h_2\right| = \\ &= \left|\frac{\Delta x}{n_1+1} - \frac{3\Delta x}{2(n_2+1)}\right| = \\ &= \left|\Delta x\left(\frac{1}{n_1+1} - \frac{3}{2(n_2+1)}\right)\right|. \end{aligned} \qquad (3)$$

4. Определение функциональной зависимости величины замыкающего звена $A_{\Delta\max}$ для наихудшего варианта сочетания размеров деталей.

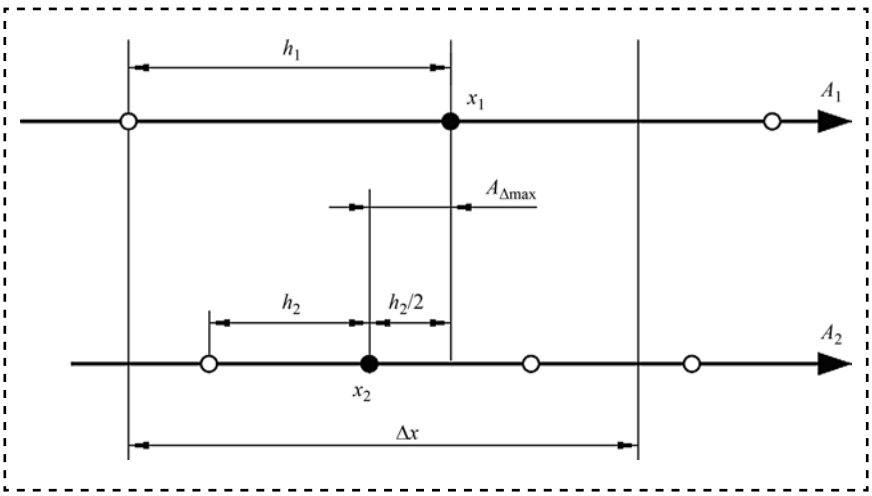


Рис. 3. Размерная цепь в наихудшем случае

Используя формулу (1), найдем n_1 и n_2 на некотором интервале $(x, x + \Delta x)$. Подставив их в выражение (3), получим:

$$A_{\Delta\max}(x) = \left|\Delta x\left[\frac{1}{\frac{N_1}{\sqrt{2\pi}}\int\limits_{\frac{x-\bar{x}_1}{\sigma_1}}^{\frac{x+\Delta x-\bar{x}_1}{\sigma_1}} e^{-\frac{z^2}{2}}dz+1} - \frac{3}{2\left(\frac{N_2}{\sqrt{2\pi}}\int\limits_{\frac{x-\bar{x}_2}{\sigma_2}}^{\frac{x+\Delta x-\bar{x}_2}{\sigma_2}} e^{-\frac{z^2}{2}}dz+1\right)}\right]\right| =$$

$$= \left|\Delta x\left[\frac{\sqrt{2\pi}}{N_1\int\limits_{\frac{x-\bar{x}_1}{\sigma_1}}^{\frac{x+\Delta x-\bar{x}_1}{\sigma_1}} e^{-\frac{z^2}{2}}dz+\sqrt{2\pi}} - \frac{3\sqrt{2\pi}}{2\left(N_2\int\limits_{\frac{x-\bar{x}_2}{\sigma_2}}^{\frac{x+\Delta x-\bar{x}_2}{\sigma_2}} e^{-\frac{z^2}{2}}dz+\sqrt{2\pi}\right)}\right]\right|. \quad (4)$$

Для случая, когда $\bar{x}_1 = \bar{x}_2 = \bar{x}$ и $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ с помощью программы Mathcad 15 был построен график полученной функции $A_\Delta = A_{\Delta\max}(x)$, приведенный на рис. 4.

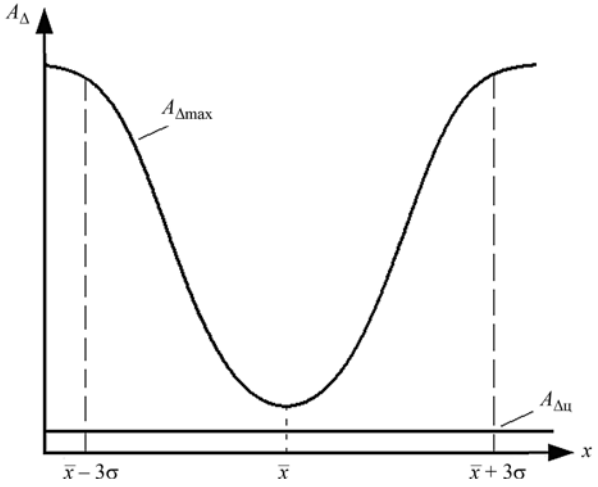


Рис. 4. Зависимость $A_{\Delta\max}(x)$ — максимальной величины замыкающего звена от текущих размеров собираемых деталей

5. Определение функциональной зависимости величины отклонения замыкающего звена $A_{\Delta k}$ от целевого значения $A_{\Delta ц}$.

$$\Delta A_\Delta(x) = A_\Delta(x) - A_{\Delta ц} =$$

$$= \left|\Delta x\left(\frac{\sqrt{2\pi}}{N_1\int\limits_{\frac{x-\bar{x}_1}{\sigma_1}}^{\frac{x+\Delta x-\bar{x}_1}{\sigma_1}} e^{-\frac{z^2}{2}}dz+\sqrt{2\pi}} - \frac{3\sqrt{2\pi}}{2\left(N_2\int\limits_{\frac{x-\bar{x}_2}{\sigma_2}}^{\frac{x+\Delta x-\bar{x}_2}{\sigma_2}} e^{-\frac{z^2}{2}}dz+\sqrt{2\pi}\right)}\right)\right| - A_{\Delta ц}. \quad (5)$$

Изложенные рассуждения были обобщены для получения универсальных зависимостей.

Пусть имеются N_1 деталей A_1, действительные размеры которых являются случайной величиной с функцией распределения $f_1(x)$, и даны N_2 деталей A_2, действительные размеры которых являются случайной величиной с функцией распределения $f_2(x)$.

Процесс подбора деталей происходит с изделиями, размеры которых — случайные величины с различными законами распределения, поэтому функциональная зависимость величины отклонения замыкающего звена от целевого значения в общем виде будет задана следующим равенством:

$$\Delta A_\Delta(x) = \left|\Delta x\left(\frac{1}{N_1\int\limits_{x}^{x+\Delta x} f_1(x)dx+1} - \frac{3}{2\left(N_2\int\limits_{x}^{x+\Delta x} f_2(x)dx+1\right)}\right)\right| - A_{\Delta ц}. \quad (6)$$

Обобщенная формула (6) может быть использована для оценки отклонения замыкающего звена от целевого значения при $100 \leqslant N_1 \leqslant N_2$.

Полученные оценки максимального значения отклонения замыкающего звена от целевого значения имеют ряд недостатков. Во-первых, они содержат интегралы в знаменателях выражений, что существенно усложняет дальней-

шее исследование этих оценок. Во-вторых, эти оценки явно зависят от Δx, которое необходимо подбирать экспериментальным путем в зависимости от параметров распределения и объемов конкретных выборок.

Поэтому приведенные ранее формулы были модифицированы с целью получения универсальных математических моделей, в которых отсутствуют описанные недостатки.

Вероятность попадания случайной величины в интервал $(x, x + \Delta x)$, приближенно (с точностью до бесконечно малых высшего порядка относительно Δx) равна произведению плотности вероятности в точке x на длину интервала Δx [2], т.е.:

$$p(x, x+\Delta x) = f(x)\Delta x = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \Delta x. \quad (7)$$

Тогда наиболее вероятное число деталей n на интервале:

$$n = Np(x, x+\Delta x) = \frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \Delta x, \quad (8)$$

а среднее расстояние между размерами соседних деталей:

$$h = \frac{\Delta x}{n}. \quad (9)$$

Аналогично рассмотренному ранее, максимальная величина замыкающего звена (обозначим ее как в этом случае $\tilde{A}_{\Delta\,\max}(x)$):

$$\tilde{A}_{\Delta\,\max}(x) = |x_1 - x_2|_{\max} = \left|h_1 - \frac{3}{2}h_2\right| =$$

$$= \left|\frac{\Delta x}{n_1} - \frac{3\Delta x}{2n_2}\right| = \left|\Delta x \left[\frac{1}{\frac{N_1}{\sigma_1\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x}_1)^2}{2\sigma_1^2}} \Delta x} - \frac{3}{2\frac{N_2}{\sigma_2\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x}_2)^2}{2\sigma_2^2}} \Delta x}\right]\right| = \quad (10)$$

$$= \left|\frac{\sigma_1\sqrt{2\pi}}{N_1} e^{\frac{(x-\bar{x}_1)^2}{2\sigma_1^2}} - \frac{3\sigma_2\sqrt{2\pi}}{2N_2} e^{\frac{(x-\bar{x}_2)^2}{2\sigma_2^2}}\right|.$$

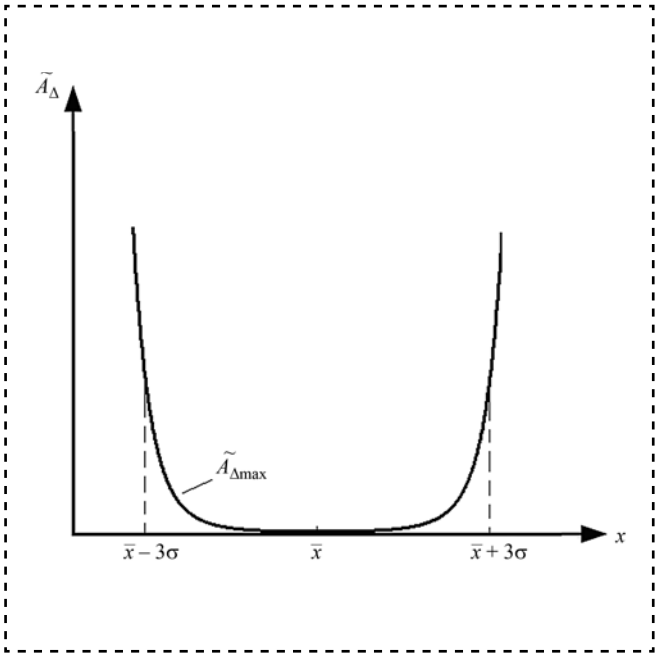


Рис. 5. Зависимость $\tilde{A}_{\Delta\max}(x)$ — максимальной величины замыкающего звена от размеров собираемых деталей

График этой функции для $\bar{x}_1 = \bar{x}_2 = \bar{x}$ и $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ на интервале $(\bar{x} - 3\sigma,\ \bar{x} + 3\sigma)$ приведен на рис. 5.

Функция $\tilde{A}_{\Delta\,\max}(x)$ явным образом не содержит Δx. Эта функция верна с точностью до бесконечно малых высшего порядка относительно Δx. Это означает, что при малых Δx количество деталей n, попадающих в интервал $(x, x + \Delta x)$ будет мало. Для размеров деталей, распределенных по нормальному закону, при приближении к концам интервалов допустимых значений величина n будет стремиться к нулю. В таких ситуациях максимальный размер замыкающего звена $\tilde{A}_{\Delta\,\max}(x)$ неограниченно возрастает, поэтому функция $\tilde{A}_{\Delta\,\max}(x)$ хорошо оценивает величину замыкающего звена при значениях размеров деталей, близких к номинальным. На концах интервалов допустимых значений теоретическая оценка будет иметь слишком большую погрешность, поэтому ее использование для таких деталей нецелесообразно.

Формулы для величины замыкающего звена получены с учетом того, что наилучшим результатом является наименьшее отклонение размеров соединяемых деталей. Вместе с тем

на практике возможны ситуации, когда целевое значение величины замыкающего звена отлично от нуля. В этом случае полученные ранее формулы могут быть использованы после предварительного нормирования интервалов значений размеров.

Предложенный вероятностно-статистический подход к расчету качества сборки позволяет получать оценки для благоприятного сочетания предельных размеров составляющих звеньев.

Вывод

Полученные математические модели позволяют без проведения численных экспериментов прогнозировать результат сборки при использовании метода индивидуального подбора деталей.

Таким образом, метод индивидуального подбора деталей становится компьютерной технологией, основой которой является исследование реального процесса сборки через поведение его адекватной математической модели.

Библиографический список

1. **Майорова Е.А., Непомилуев В.В.** Исследование возможностей повышения качества сборки путем использования индивидуального подбора деталей // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2006. № 10. С. 34–38.

2. **Кобзарь А.И.** Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: Физматлит, 2006. 816 с.

УДК 681.2-52

Ю.Н. Можегова, *канд. техн. наук*
(*Ковровская государственная технологическая академия имени В. А. Дегтярева*)
E-mail: kandy2701@mail.ru

Точность автоматизированного контроля пористости материалов газодинамическим методом

Теоретически обоснован способ автоматизированного определения пористости материалов. Разработано устройство контроля. Определена точность способа контроля пористости материалов.

Theoretically substantiated the method of automated determination of materials porosity. Have been developed the monitoring device. Have been defined accuracy of the method of control the materials porosity.

Ключевые слова: автоматизированный неразрушающий контроль, пористость, газодинамический метод.

Keywords: computerized non-damaging control, porosity, gas-dynamic method.

В машиностроении и приборостроении при изготовлении высокоточных устройств нашли широкое применение пористые материалы. Требования, налагаемые на технологию изготовления такого вида изделий, распространяются и на процесс контроля качества как сборки данных изделий, так и изготовления элементов сборочных узлов. Одним из методов контроля механических свойств изделий является газодинамический метод, основанный на процессе течения газа через контролируемый материал.

Известен способ определения параметров пористости материалов [1], согласно которому пористость материалов определяется по выражению:

$$\Pi = \frac{12 t_c V_u (P_u - P_c)}{P_a F l (t_u - t_c)},$$

где P_c и t_c — давление (Па) и время (с) в измерительной камере, соответствующие переходу от кнудсеновского к ламинарному режиму течения газа;

V_u — объем газа, протекающего в единицу времени t_u при давлении P_u в измерительную камеру устройства контроля, м^3;

P_u и t_u — текущие значения давления (Па) и времени (с), $t_u > t_c$;

P_a — атмосферное давление, Па;

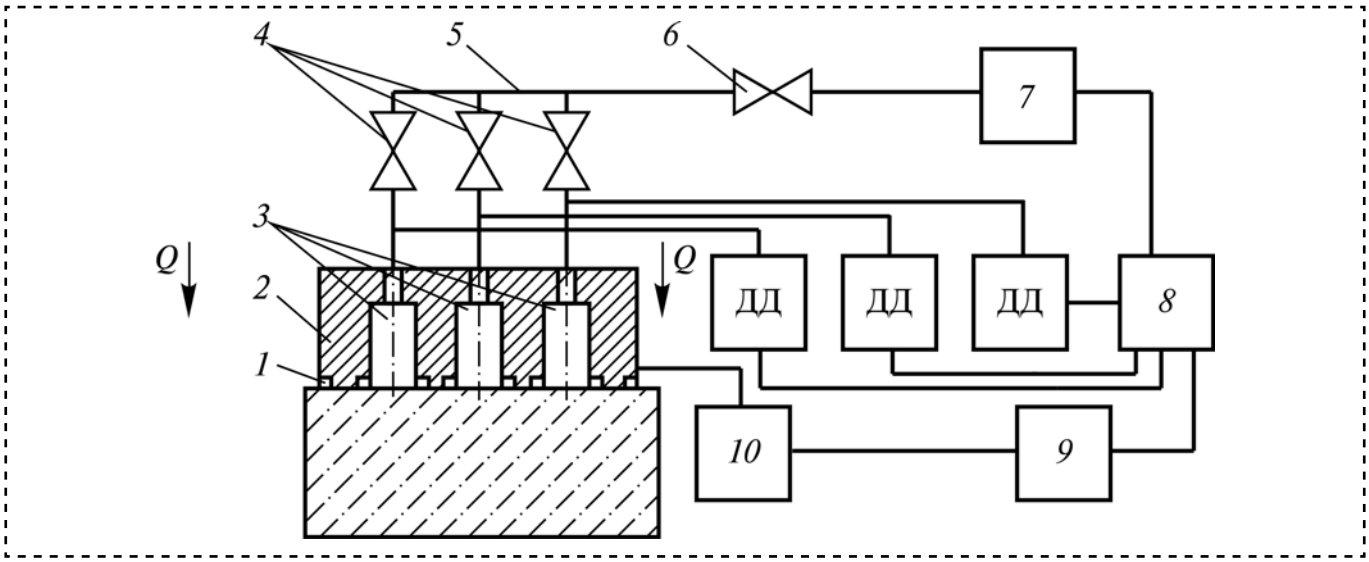
F — площадь контролируемого материала, ограниченная измерительной камерой, м^2;

l — толщина исследуемого материала, м;

Устройство для определения пористости [2] представлено на рисунке и состоит из измерительной камеры *2*, которая установлена на контролируемое изделие и герметично прижата к нему усилием *Q*, образуя герметичные газовые полости *3* за счет прокладок *1*. Камера соединена через систему трубопровода *5* с вакуумным насосом *7*. Для исключения перетечки газа между полостями *3* каждая из них имеет возможность отключения от общей магистрали посредством клапана *4*. Насос *7* имеет возможность отключения от магистрали посредством клапана *6*. Каждая газовая полость *3* имеет выход на датчик давления газа ДД, информация с которых автоматически через систему управления *8* передается на ЭВМ *9*, снабженную встроенным датчиком времени. Измерительная камера *2* снабжена датчиком температуры *10*, который подключен к ЭВМ *9*.

После установки измерительной камеры *2* на контролируемое изделие и пуска ЭВМ *9* система управления *8* автоматически открывает клапаны *4*, *6*, включает насос *7* и происходит откачка воздуха из полостей *3*. Как только датчики давления ДД покажут наличие вакуума в полостях *3*, информация передается в систему управления *8* и ЭВМ *9*. Система управления *8* отключает насос и перекрывает клапаны *4*, *6*. На ЭВМ *9* запускается программное обеспечение построения зависимости изменения давления в полости *3* с течением времени.

Датчик температуры *10* передает информацию о температуре в камере *2* на ЭВМ *9*, кото-



Устройство для определения пористости

рая строит графические зависимости давления от времени для каждого из переданных каналов данных и с использованием специально разработанного программного обеспечения определяет численное значение пористости.

Найдем погрешность измерения коэффициента пористости материала от структуры материала, параметров устройства и их точности при изготовлении, воспользовавшись методом линейных ошибок:

$$\delta\Pi = \frac{\partial\Pi}{\partial V_u}\delta V_u + \frac{\partial\Pi}{\partial l}\delta l + \frac{\partial\Pi}{\partial t_c}\delta t_c + \frac{\partial\Pi}{\partial P_u}\delta P_u + \frac{\partial\Pi}{\partial P_c}\delta P_c + \frac{\partial\Pi}{\partial F}\delta F + \frac{\partial\Pi}{\partial P_a}\delta P_a + \frac{\partial\Pi}{\partial t_u}\delta t_u,$$

где $\frac{\partial\Pi}{\partial V_u}, \frac{\partial\Pi}{\partial l}, \ ..., \ \frac{\partial\Pi}{\partial t_u}$ — коэффициенты влияния данных параметров на погрешность измерения коэффициента пористости;

δV_u, δl, ..., δt_u — изменения параметров.

Используя выражение для определения погрешности косвенных измерений, придем к конечным величинам:

$$\delta\Pi = \sqrt{\left(\frac{\partial\Pi}{\partial V_u}\Delta V_u\right)^2 + \left(\frac{\partial\Pi}{\partial l}\Delta l\right)^2 + \left(\frac{\partial\Pi}{\partial P_u}\Delta P_u\right)^2 + \left(\frac{\partial\Pi}{\partial P_c}\Delta P_c\right)^2 + \left(\frac{\partial\Pi}{\partial F}\Delta F\right)^2 + \left(\frac{\partial\Pi}{\partial P_a}\Delta P_a\right)^2 + \left(\frac{\partial\Pi}{\partial t_u}\Delta t_u\right)^2 + \left(\frac{\partial\Pi}{\partial t_c}\Delta t_c\right)^2},$$

где $\delta\Pi$ — погрешность коэффициента пористости;

ΔV_u, Δl, ..., Δt_u — допустимые отклонения данных параметров.

Найдем выражения для определения коэффициентов влияния:

$$\frac{\partial\Pi}{\partial V_u} = \frac{12t_c(P_u - P_c)}{P_a F(t_u - t_c)l};$$

$$\frac{\partial\Pi}{\partial l} = -\frac{12V_u t_c(P_u - P_c)}{P_a F l^2(t_u - t_c)};$$

$$\frac{\partial\Pi}{\partial t_c} = -\frac{12V_u}{P_a F}\frac{t_u(P_u - P_c)}{l(t_u - t_c)^2};$$

$$\frac{\partial\Pi}{\partial P_u} = \frac{12V_u t_c}{P_a F^2 l(t_u - t_c)};$$

$$\frac{\partial\Pi}{\partial P_c} = \frac{12V_u t_c}{P_a F l(t_u - t_c)};$$

$$\frac{\partial\Pi}{\partial F} = -\frac{12V_u t_c(P_u - P_c)}{P_a F^2 l(t_u - t_c)};$$

$$\frac{\partial\Pi}{\partial P_a} = -\frac{12V_u t_c(P_u - P_c)}{P_a^2 F l(t_u - t_c)};$$

$$\frac{\partial\Pi}{\partial t_u} = -\frac{12V_u t_c(P_u - P_c)}{P_a F l(t_u - t_c)^2}.$$

Таблица 1

Результаты эксперимента

Длина изделия, l, м	Давление, Па			Время, с		Объем камеры, V_u, м^3	Площадь контакта камеры и изделия, F, м^2
	P_u	P_c	P_a	t_u	t_c		
0,01	1720,12	1661,38	101 332,20	421,33	307,97	$4\cdot10^{-6}$	$4\cdot10^{-4}$

Таблица 2

Погрешности измерений параметров

Погрешность измерения						
длины изделия, Δl, м	давления ΔP_u, Па	давления ΔP_c, Па	давления ΔP_a, Па	времени, t_c, с	объема камеры, ΔV_u, м^3	площади контакта камеры и изделия, F, м^2
0,0001	2,58	2,49	151,9	0,01	$8{,}79\cdot10^{-8}$	$6{,}14\cdot10^{-6}$

Для оценки точности способа был проведен эксперимент по контролю пористости изделия из сложной керамической системы размером 200×200 мм, толщиной 10 мм. В результате эксперимента были получены данные, приведенные в табл. 1.

Погрешности измерений параметров приведены в табл. 2.

Согласно данным табл. 1 и 2 были определены с применением MachCAD коэффициенты влияния и погрешность измерения пористости материала:

Коэффициент	$\frac{\partial \Pi}{\partial V_u}$	$\frac{\partial \Pi}{\partial P_u}$	$\frac{\partial \Pi}{\partial P_c}$	$\frac{\partial \Pi}{\partial t_c}$	
Значение	$2{,}673\cdot10^{-3}$	$8{,}042\cdot10^{-4}$	$-8{,}042\cdot10^{-4}$	$5{,}701\cdot10^{-4}$	
Коэффициент	$\frac{\partial \Pi}{\partial P_a}$	$\frac{\partial \Pi}{\partial F}$	$\frac{\partial \Pi}{\partial l}$	$\frac{\partial \Pi}{\partial t_u}$	$\Delta\Pi$
Значение	$-4{,}662\cdot10^{-7}$	$-66{,}825$	$-4{,}724$	$-4{,}167\cdot10^{-4}$	$3{,}812\cdot10^{-3}$

В результате проведенных расчетов было получено значение пористости

$$\Pi \pm \Delta\Pi = 0{,}047 \pm 0{,}0038 \text{ отн. ед.}$$

Вывод

Обоснованы газодинамический метод и устройство автоматизированного неразрушающего контроля пористости материалов. Точность процесса контроля лежит в пределах 5...9 %, что отвечает требованиям производства.

Библиографический список

1. **Матросова Ю.Н.** Способ автоматизированного неразрушающего контроля физико-механических свойств изделий из пористых материалов // Контроль. Диагностика. 2003. № 4. С. 51—55.

2. **Можегова Ю.Н.** Точность автоматизированного контроля минимального размера пор материала при газодинамическом методе // Вестник Рыбинского государственного авиационного технического университета. 2014. № 1. С. 121—125.

УДК 621.91

В.Ф. Безъязычный, В.В. Непомилуев, *д-ра техн. наук*
(*Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева*)
E-mail: vvvvnn@yandex.ru

Возможные пути повышения качества изготовления изделий машиностроения

Рассмотрены возможности повышения качества изготовления изделий машиностроения путем использования различных подходов.

The article examines the possibility of improving the quality of the machine building by using different technologies.

Ключевые слова: сборка, процесс, качество, размер, технология.

Keywords: assembly, process, quality, size, technology.

Введение

В условиях современного производства актуальны задачи гарантированного обеспечения качества и достижения максимальной идентичности изделий. Однако создание новых изделий в значительной мере сдерживается имеющимся уровнем технологии их изготовления.

Процесс сборки является завершающим и наиболее ответственным этапом производства любого изделия. Его можно представить формально как процесс формирования замыкающего звена размерной цепи. Такой подход позволяет использовать основные методы и понятия теории размерного анализа при рассмотрении возможностей повышения качества изготовления изделия. Поскольку понятия "размер" и "допуск" могут быть отнесены к любому количественному показателю качества, приведенные далее рассуждения носят универсальный характер.

Известно, что для повышения качества изготовления изделия необходимо стремиться к уменьшению вариабельности, т.е. разброса величины замыкающего звена. Эта задача может быть решена несколькими методами.

Традиционные методы

При использовании традиционных методов сборщик наугад берет собираемые детали, осуществляет их сборку, а удовлетворительность или неудовлетворительность полученного в результате параметра качества оценивают уже после сборки. Таким образом, сам процесс суммирования погрешностей деталей при образовании сборочного соединения неуправляем и для повышения качества сборки изделия необходимо выполнить одно из следующих мероприятий:

1) уменьшить допуски на составляющие звенья размерной цепи;

2) уменьшить число составляющих звеньев размерной цепи;

3) использовать при сборке методы компенсации (регулирования или пригонки).

Сущность, преимущества и недостатки этих способов известны и описаны в соответствующей литературе. Отметим лишь, что их использование далеко не всегда позволяет получить нужный результат с приемлемыми затратами.

Использование налаженных технологических процессов для изготовления деталей

Известно, что одним из основных признаков налаженности процесса является распределение размеров изготовленных деталей по нормальному закону. В работе [1] приведены результаты компьютерного моделирования результатов процесса сборки изделия из дета-

лей, изготовленных с помощью разлаженных (равномерное распределение размеров) и налаженных (нормальное распределение размеров) технологических процессов. Анализ этих данных позволяет сделать вывод о том, что изменение закона распределения размеров составляющих звеньев на нормальный позволяет при неизменных требованиях к деталям существенно повысить качество собранного изделия. На практике для реализации преимуществ этого способа необходимо обеспечить статистическую управляемость технологического процесса, например, с помощью контрольной карты.

Использование метода индивидуального подбора деталей

При использовании традиционных методов сборки процесс суммирования погрешностей деталей неуправляем. Этого недостатка лишен метод индивидуального подбора деталей, основанный на предваряющем сборку рассмотрении возможных вариантов и выборе лучшего из них для практической реализации. Как показано в работе [2], разброс качества собранного изделия для ограниченной выборки в 100 штук сокращается в 6—12 раз, а по сравнению с теоретическими расчетами — в 13—15 раз. Таким образом, самым существенным преимуществом данного способа является возможность резкого роста качества изготавливаемого изделия без повышения требований к его деталям и без риска получения дефектного изделия при физическом осуществлении процесса сборки (поскольку при компьютерном моделировании процесс сборки носит виртуальный характер). Более того, по мере роста числа звеньев в размерной цепи преимущества этого метода растут.

Недостатками способа являются дополнительные затраты на контроль и компьютерную комплектацию деталей, а также зависимость достигаемого качества и его стабильности от числа находящихся на сборочном складе деталей. Несмотря на это, рассмотренный способ может применяться даже в единичном производстве, если собираемые детали могут занимать друг относительно друга различные относительные положения. Применение такой технологии дает возможность таким образом подобрать собираемые детали и их относительное положение, чтобы они в максимально возможной степени компенсировали погрешности друг друга.

При использовании этого способа в реальном производстве оптимальная комплектация собираемого изделия должна производиться технологом на компьютере. В цех, на рабочее место сборщиков должен поступать уже подобранный комплект деталей, подлежащих сборке, с указанием того относительного положения их, которое они должны иметь в собираемом изделии. Поскольку в данном случае необходимые изменения технологии и организации производства минимальны, способ может быть реализован без реинжиниринга существующих производственных процессов.

Изготовление 2-й сопрягаемой детали с учетом действительного размера готовой 1-й сопрягаемой детали

При использовании данного способа сначала изготавливают ту из сопрягаемых деталей, требования к качеству которой наиболее трудно достижимы. После изготовления 1-й сопрягаемой детали производится ее контроль и полученный действительный размер передается в систему управления станка, выполняющего окончательную обработку 2-й сопрягаемой детали. Этот станок настраивают на операционный размер, рассчитываемый с учетом действительного размера 1-й детали, а не на середину поля допуска заданного в технологической карте операционного размера. В результате общая погрешность при сборке изготовленной таким образом пары деталей уменьшается на величину погрешности наиболее сложной в технологическом отношении детали. В большинстве случаев это очень существенно.

Такой способ используют в единичном и ремонтном производствах, когда обе детали изготавливает один рабочий (работа "по месту"). Однако прямое копирование способа с целью использования его в серийном производстве невозможно. Для эффективной реализации данного способа в серийном производстве необходимо:

1) наличие оборудования с ЧПУ для обеспечения возможности оперативной коррекции настроечных размеров;

2) реинжиниринг существующего производственного процесса.

Известно, что существующие принципы организации труда в механосборочном производстве основаны на допущениях относительно технологии, людей и целей организации, которые уже давно не соответствуют действительности. Между тем, возможности современных информационных технологий очень велики и быстро расширяются. Современные станки с ЧПУ могут непосредственно взаимодействовать с компьютерной сетью, что позволяет выполнять процессы изготовления собираемых деталей взаимосвязанно даже в тех случаях, когда они разделены территориально.

Одновременное исполнение различных технологических процессов экономит время, но в фазе интеграции их результатов — при сборке — возникают проблемы. Новый принцип взаимосвязанности технологических процессов изготовления собираемых деталей рекомендует координировать соответствующие действия в процессе их совершения, а не по окончании процессов. Практическое осуществление этого способа вполне возможно, но требует дальнейших исследований.

Сортировка готовой продукции

Наиболее сложной проблемой в данном случае является реализация "второсортной" продукции. Тем не менее, ее решение возможно. Например, подобная продукция может быть реализована:

1) в тех местах, где ответственность производителя уменьшена;

2) под другой торговой маркой;

3) в менее ответственных изделиях либо изделиях, работающих в менее напряженных условиях эксплуатации.

Информация из Internet позволяет сделать вывод, что все эти направления используются достаточно широко.

Обеспечение объективности оценки достигнутого при сборке качества

Известно, что при решении любой технической проблемы необходимо обеспечить выполнение трех взаимосвязанных задач:

- конструкторской;
- технологической;
- метрологической.

Кроме того, что сами по себе эти задачи сложны, их необходимо решать с учетом технико-экономических ограничений. Как правило, решение, в том числе и метрологической задачи, представляет собой компромисс, поскольку во многих случаях контроль непосредственно требуемых от изделия эксплуатационных свойств либо затруднителен, либо вообще невозможен. В связи с этим чаще всего контролируют параметры, как-либо связанные с рассматриваемым свойством, но не являющиеся им. Более того, используемые для оценки параметры обычно неоднозначны и не характеризуют требуемое свойство полностью, допуская различные неравноценные варианты.

Решением рассматриваемой проблемы может быть использование технологии виртуальной сборки, при осуществлении которой внутри компьютера создается виртуальное изделие — адекватная математическая модель (или набор математических моделей) собранного изделия, учитывающая все наиболее существенные свойства и процессы, характерные для данного конкретного экземпляра какого-либо реального изделия. Это виртуальное изделие может быть предназначено, например, для определения выходных геометрических или физических параметров качества сборки соответствующего реального изделия в данном конкретном варианте комплектации его деталей.

Однако с полученным виртуальным изделием в компьютерной среде виртуальной реальности можно очень быстро и с небольшими затратами производить те же самые действия, что и с реальным, физически существующим изделием, например, виртуальные испытания, эксплуатацию. А это уже позволяет оценивать качество сборки изделия при данном конкретном варианте его комплектации по тем критериям, которые однозначно характеризуют его, но не могут быть обеспечены при использовании традиционной технологии сборки.

Такая технология дает возможность:

- оценивать качество сборки изделия не только с помощью традиционных показателей, но и использовать гораздо более надежные и информативные эксплуатационные показатели, тесно связанные со служебным назначением изделия и не обеспечивающиеся при обычно используемой технологии сборки;
- оценивать качество самой конструкции изделия, исследуя ее поведение на различных режимах с учетом специфических погрешностей, возникающих на всех этапах ее изготовления;
- обоснованно формулировать требования к качеству изготовления деталей.

Компенсация изменения достигнутого качества при эксплуатации машины на этапе ее изготовления

Изменение достигнутого уровня качества начинается уже в процессе изготовления машины и продолжается все время ее эксплуатации. Эта проблема вызвана многими причинами.

1. Начальный период эксплуатации большинства машин связан с приработкой трущихся деталей, в результате чего быстро изменяются их размеры и, вследствие этого, достигнутое при сборке качество. Для уменьшения влияния этого процесса возможно:

- изготовление деталей с такими показателями качества сопрягаемых поверхностей, которые обеспечивают минимальный приработочный износ, например с равновесной шероховатостью;
- изготовление таких сопряжений с минимально допустимыми зазорами между трущимися поверхностями. В этом случае изготовленная машина перед началом нормальной эксплуатации должна пройти период обкатки, завершающийся, как правило, заменой смазки.

2. Все детали и сборочные единицы, входящие в состав собранной машины, обладают наследственными свойствами, заложенными при ее изготовлении и проявляющимися постепенно в течение длительного периода времени. В результате непрерывно и чаще всего непредсказуемо меняются и свойства деталей, сборочных единиц и самой машины. Для уменьшения влияния технологической наследственности на качество машины могут быть использованы следующие меры:

- разработка конструкций машин, нечувствительных к изменениям;
- сведение к минимуму нежелательных наследственных свойств деталей;
- обеспечение благоприятного направления изменения характеристик деталей вследствие проявления их наследственных свойств;
- управление происходящими изменениями в процессе эксплуатации машины;
- прогнозирование и компенсация будущих изменений на этапе сборки.

3. В течение жизненного цикла собранного изделия практически всегда на него воздействуют различные случайные факторы, в результате чего могут изменяться его свойства. Например, геометрическая точность металлорежущего станка существенно и непредсказуемым образом меняется при его установке на жестком фундаменте. Для уменьшения влияния случайных факторов необходимо либо изолировать изделие от их воздействия, либо постоянно контролировать его параметры и своевременно принимать меры по компенсации случайных воздействий.

4. В процессе функционирования собранной машины вследствие появления эксплуатационных нагрузок происходят ее деформации. Как правило, такие деформации носят сложный характер и далеко не всегда даже оцениваются. Наличие таких изменений подтверждается тем, что в некоторых случаях после испытания собранного изделия заметно изменяются его размеры, относительное положение поверхностей, уравновешенность. Эти изменения могут быть настолько велики, что это приводит к необходимости дополнительных пригоночных операций. Поэтому та точность, которая предусмотрена чертежом и техническими требованиями, и достигается в процессе сборки машины, зачастую является в значительной мере условной.

Для решения этой проблемы необходима разработка и практическое использование надежных методик расчета нежестких размерных цепей.

Вывод

Повышение качества изготовления современных высокоточных изделий машиностроения может быть достигнуто путем создания управляемого по качеству процесса сборки на основе использования достоверных аналитических методов расчета реальных нежестких размерных цепей, а также разработки новых методов обеспечения требуемого качества сборки.

Библиографический список

1. **Дюпин И.В., Непомилуев В.В.** Повышение качества сборки путем обеспечения статистической управляемости технологических процессов изготовления деталей // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2008. № 1. С. 3—8.

2. **Майорова Е.А., Непомилуев В.В.** Исследование возможности повышения качества изготовления высокоточных изделий машиностроения путем учета компенсирующей способности деталей при использовании метода индивидуального подбора // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. № 9. С. 11—14.

УДК 621.774

А.В. Королёв, *д-р техн. наук,* **К.С. Нейгебауэр**
(*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.*)

Исследование упрочняющей технологии раскатки дорожек качения шарикоподшипников*

Теоретические и экспериментальные исследования позволили решить поставленную в работе актуальную задачу разработки и исследования упрочняющей стабилизирующей технологии шариковой раскатки дорожек качения шариковых подшипников и обеспечения на основе этого снижения трудоемкости изготовления деталей и повышения качества подшипников.

Theoretical and experimental studies have allowed to solve the actual problem in the research and development of hardening of the stabilizing technology ball rolling raceway ball bearings and assurance on the basis of reducing the complexity of manufacturing parts and improve the quality of the bearings.

Ключевые слова: подшипник, шариковая раскатка, деформация колец, раскатник, дорожка качения.

Keywords: bearing, ball reeling, deformation rings raskatnik, raceway.

Введение

Одним из важнейших преимуществ методов пластической деформации по сравнению с методами, основанными на резании металла, является обеспечение повышенной твердости, однородности микроструктуры и оптимальной текстуры прилегающих к поверхности слоев материала. Повышенная твердость поверхностного слоя и благоприятная текстура металла способствуют повышению износостойкости, усталостной прочности детали и в ряде случаев устраняют необходимость последующей термообработки. Однородность микроструктуры способствует повышению надежности изделий [1].

В процессе обработки методами пластической деформации улучшается микрогеометрия поверхности. Шаг микронеровностей возрастает, увеличивается радиус округления их вершин, что повышает несущую способность поверхности, улучшает прирабатываемость поверхности, снижает износ.

Теоретические исследования процесса формирования упрочненного поверхностного слоя при исследовании упрочняющей технологии раскатки дорожек качения шарикоподшипников основаны на методах технологии машиностроения, расчетно-аналитических методах материаловедения и теории упругости. Для моделирования процесса формирования геометрических параметров дорожки качения в данных исследованиях использовали программный продукт MathCAD v15.

Экспериментальные исследования проводили на основе теории многофакторного планирования экспериментов, а обработка полученных данных – с использованием методов математической статистики. В качестве измерительных средств исследования использовали оборудование и приборы ОАО "ЕПК Саратов" [2].

На основании анализа ряда работ в области обработки металлов давлением были выделены наиболее важные и значимые факторы. В качестве варьируемых факторов были приняты:

- число шариков используемых при раскатке — k;
- осевое усилие приходящееся на один шарик — P;
- время раскатки одного кольца — t.

Был поставлен полный факторный эксперимент 2^3 [3].

Ход исследования

При исследовании упрочняющей технологии раскатки дорожек качения шарикоподшипников и стабилизации параметров колец подшипников шариковым раскатным инструментом, состоящим из комплекта шариков и оправки, прижимающей их к обрабатываемой поверхности вращающейся детали, ось раскатного инструмента совмещают с осью вращения детали. Рабочую часть раскатного инструмента выпол-

* Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП (проект № 2014-14-576-0050-065) и Госзадания Минобрнауки России № 9.896.2014/К.

няют под углом, совпадающим с углом контакта шариков и дорожек качения собранного подшипника, а диаметр шариков в раскатном инструменте берут равным диаметру шариков в собранном шарикоподшипнике.

Технико-экономическая эффективность от использования предполагаемого изобретения заключается в уменьшении вибраций инструмента в процессе обработки, что снижает волнистость обработанной поверхности и повышает качество подшипника, так как в собранном подшипнике шарики катятся по раскатанной поверхности дорожек качения колец и снижает сила трения, вследствие чего уменьшается износ раскатного инструмента и повышается эффективность обработки.

Дорожку качения внутреннего кольца *1* шарикового подшипника (рис. 1) подвергают раскатке шариковым раскатным инструментом, состоящим из шариков *2* и оправки *3*. Ось оправки *3* располагают по оси вращения кольца *1*. Рабочей поверхности оправки придают коническую форму с углом уклона конуса β, совпадающим с углом контакта тел и дорожек качения в собранном подшипнике. Шарики разделяют сепаратором *4*. Диаметр шариков d_s берут равным диаметру шариков в собранном подшипнике.

В процессе обработки кольцу *1* придают вращение вокруг своей оси с частотой *n*, а к оправке *3* прикладывают нагрузку *P*, направление которой совпадает с осью вращения кольца *1*. Внешняя нагрузка *P* равномерно распределяется между шариками *2* и на каждый шарик действует вдоль линии его контакта с дорожкой качения и рабочей части оправки *3* под углом β.

Под действием сил трения с обрабатываемой поверхностью кольца *1* шарики *2* свободно катятся по конической поверхности оправки *3* и

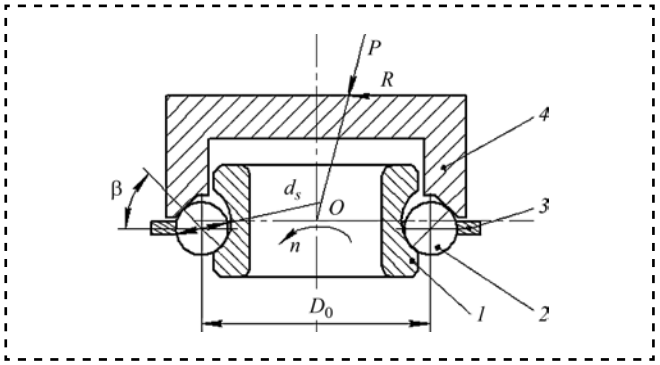


Рис. 1. Раскатка дорожки качения внутреннего кольца радиально-упорного шарикового подшипника

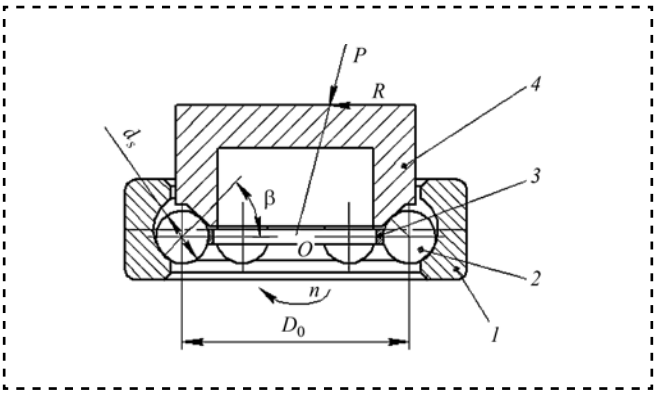


Рис. 2. Раскатка дорожки качения наружного кольца радиально-упорного шарикового подшипника

по дорожке качения кольца *1*, совершая планетарное движение вокруг оси вращения кольца *1* и оправки *3*. Вращение каждого шарика относительно обрабатываемой поверхности осуществляется вокруг оси, перпендикулярной линии контакта шарика с дорожкой качения и рабочей поверхностью оправки *3*.

Таким же образом осуществляется обработка дорожки качения наружного кольца подшипника (рис. 2). Дорожку качения наружного кольца *1* шарикового подшипника подвергают раскатке шариковым раскатным инструментом, состоящим из шариков *2* и оправки *3*. Ось оправки *3* располагают по оси вращения кольца *1*. Рабочей поверхности оправки придают коническую форму с углом уклона конуса β, совпадающим с углом контакта тел и дорожек качения в собранном подшипнике. Шарики разделяют сепаратором *4*. Диаметр шариков d_s берут равным диаметру шариков в собранном подшипнике.

В процессе обработки кольцу *1* придают вращение вокруг своей оси с частотой *n*, а к оправке *3* прикладывают нагрузку *P*, направление которой совпадает с осью вращения кольца *1*. Внешняя нагрузка *P* равномерно распределяется между шариками *2* и на каждый шарик действует вдоль линии его контакта с дорожкой качения и рабочей части оправки *3* под углом β.

Под действием сил трения с обрабатываемой поверхностью кольца *1* шарики *2* свободно катятся по конической поверхности оправки *3* и по дорожке качения кольца *1*, совершая планетарное движение вокруг оси вращения кольца *1* и оправки *3*. Вращение каждого шарика относительно обрабатываемой поверхности осуществляется вокруг оси, перпендикулярной линии контакта шарика с дорожкой качения и рабочей поверхностью оправки *3*.

Так как ось оправки *3* совмещают с осью вращения кольца *1*, то все шарики раскатного инструмента в процессе стабилизации прижимаются к обрабатываемой поверхности, что предотвращает возникновение вибраций. Вследствие того, что угол контакта β шариков *2* с дорожкой качения кольца *1* при раскатке совпадает с углом контакта в подшипнике, а диаметр шариков d_s принимают равным диаметру шариков в собранном подшипнике, то при работе подшипника шарики катятся по раскатанной части дорожки качения. Все это обеспечивает повышение качества изготовления подшипника. А так как сила воздействия на каждый шарик совпадает с линией его контакта с дорожкой, то проскальзывание шариков относительно дорожки качения и рабочей части оправки отсутствует и поэтому износ раскатного инструмента получается минимальным.

Пример. Обработке подвергают внутреннее кольцо подшипника 42205 (см. рис. 1): $\beta = 26^\circ$, $D_0 = 38{,}5$ мм, $d_s = 8$ мм, число шариков $z = 9$.

Для обработки берут оправку с конической рабочей поверхностью, имеющей угол уклона конуса, равный $\beta = 26^\circ$. На поверхность дорожки качения устанавливают шарики диаметром 8 мм, закрепленные в сепараторе. На шарики накладывают оправку и совмещают ось оправки с осью обрабатываемого кольца подшипника. Шарики при этом плотно прилегают к сопрягаемым поверхностям дорожки качения кольца и конической рабочей поверхности оправки. Обрабатываемому кольцу придают вращение вокруг его оси, а на ось оправки воздействуют заданной силой. Силу воздействия на оправку и частоту вращения обрабатываемого кольца подшипника определяют экспериментально в зависимости от исходной погрешности детали и требуемого качества обработки.

Заключение

Было выявлено, что наибольшее влияние на показатели обработки оказывает внешняя нагрузка *P* на подшипник. С увеличением нагрузки момент сопротивления вращению подшипника уменьшается, статическая грузоподъемность подшипника и твердость поверхности дорожек качения возрастают. Объясняется это тем, что с возрастанием нагрузки увеличивается степень упрочнения обработанной поверхности и размер поперечного сечения локальной дорожки качения, что приводит к снижению контактных напряжений в подшипнике, а следовательно, к повышению статической грузоподъемности подшипника.

Меньшее влияние на показатели процесса шариковой раскатки оказывает число раскатных шариков. С уменьшением числа раскатных шариков увеличивается нагрузка на шарики, что равносильно увеличению внешней нагрузки. Но как было показано ранее, при числе шариков, равном трем, процесс раскатки осуществляется нестабильно, что и вызывает снижение влияния этого фактора.

Время обработки также оказывает значительное влияние на ее результаты. Объясняется это тем, что пластическая деформация дорожки качения происходит в течение нескольких оборотов колец подшипников. Но после того, как пластическая деформация заканчивается, осуществляется стабилизация геометрических параметров дорожки качения и физико-механических свойств поверхностного слоя. Следовательно, с увеличением времени повышается стабильность параметров подшипника.

Таким образом, при раскатке предложенным способом повышается качество изготовления подшипника. Кроме того, ликвидируются очаги повышенного трения и износа раскатного инструмента и, как следствие, повышается эффективность обработки.

Технико-экономическая эффективность от использования предполагаемого изобретения заключается в следующем:

1) уменьшается вибрация инструмента в процессе обработки, что снижает волнистость обработанной поверхности;

2) повышается качество подшипника, так как в собранном подшипнике шарики катятся по раскатанной поверхности дорожек качения колец;

3) снижается сила трения, вследствие чего снижается износ раскатного инструмента и повышается эффективность обработки.

Библиографический список

1. **Королёв А.А.** Математическое моделирование упругих тел сложной формы. Саратов: Изд-во Сарат. гос. техн. ун-та, 2001. 128 с.

2. **Королёв А.В., Королёв Ан.А., Колролёв Ал.А.** Совершенствование технологии изготовления тонкостенных колец подшипников. Саратов: Изд-во СГТУ, 2004. 136 с.

3. **Королёв А.В., Королёв Ан.А.** Точная холодная торцовая раскатка. Саратов: Изд-во СГТУ, 2003. 142 с.

УДК 62-932.4

И.Н. Марихов, *канд. техн. наук*
(*Ковровская государственная технологическая академия им. В. А. Дегтярева*)
E-mail: marihovin@mail.ru

Математическое моделирование надежности технических систем

Описан процесс моделирования надежности и работоспособности технических систем на основе теории вероятностей. Рассмотрен пример моделирования надежности и работоспособности сборочного устройства. Построен граф состояний работы сборочного оборудования. Получена матрица интенсивностей переходов системы в различные состояния. Предложен алгоритм определения параметров надежности работы сборочного устройства.

The paper the process of modeling the reliability and efficiency of technical systems based on probability theory was describes. An example of modeling the reliability and efficiency of the assembly of the device is considered. State graph of the assembly equipment is constructed. Matrix of transition intensities in different states is obtain. An algorithm determining the parameters of the reliability of the assembly of the device is proposed.

Ключевые слова: сборочное устройство, надежность, математическая модель.

Keywords: assembler, reliability, mathematical model.

В машиностроении математическое моделирование широко используют при анализе работоспособности сложных конструкций и сооружений, сборочных устройств и узлов. Современное состояние науки о надежности технических систем базируется на теории вероятности, которая позволяет с высокой точностью определять параметры безотказности, долговечности, ремонтопригодности сборочных устройств и изделий машиностроения.

Надежность — это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования [1].

Надежность объекта является комплексным свойством, ее оценивают по четырем показателям — безотказности, долговечности, ремонтопригодности или по сочетанию этих свойств.

Как и в любой теории, главная проблема теории надежности заключается в разработке математических моделей, адекватно описывающих реальные явления и процессы, связанные с разработкой, изготовлением и эксплуатацией продуктов, создаваемых человеком.

Модели надежности устанавливают связь между подсистемами (или элементами системы) и их влиянием на работу всей системы.

Случайные процессы с дискретными состояниями удобно иллюстрировать с помощью так называемого графа состояний G. Каждая вершина S_1, S_2, ..., S_n графа G представляет состояние, в котором изделие может находиться в процессе эксплуатации (работоспособно, в состоянии технического обслуживания, в состоянии скрытого отказа и т.д.). Ребра графа G представляют возможные переходы из состояния в состояние. Веса ориентированных ребер (i, j) графа G представляют соответствующие интенсивности $\alpha_{i,j} > 0$, $i \neq j$.

Для описания случайного процесса с дискретными состояниями пользуются вероятностями состояний системы G, т.е. значениями $p_1(t)$, $p_2(t)$, ..., $p_n(t)$, где $p_i(t) = P\{G(t) = S_i\}$ — вероятность того, что в момент времени t система G находится в состоянии S_i; $G(t)$ — случайное состояние системы G в момент t; $p(t) = [p_1(t)p_2(t), \ \ldots, \ p_n(t)]^{\mathrm{T}}$ — столбец вероятностей и $\dot{p}(t) = [\dot{p}_1(t)\dot{p}_2(t), \ \ldots, \ \dot{p}_n(t)]^{\mathrm{T}}$ — столбец производных вероятностей (скоростей их изменения во времени).

Вероятности $p_i(t)$ находят с помощью системы дифференциальных уравнений Колмогорова (задачи Коши), имеющей вид:

$$\begin{cases} \dot{p} = A^{\mathrm{T}} p; \\ p(0) = (1\ 0\ 0\ \ldots 0)^{\mathrm{T}}, \end{cases}$$

где $(...)^{\mathrm{T}}$ обозначает операцию транспонирования матрицы;

$p(0) = (1\ 0\ 0 \ldots 0)^{\mathrm{T}}$ — начальное условие;

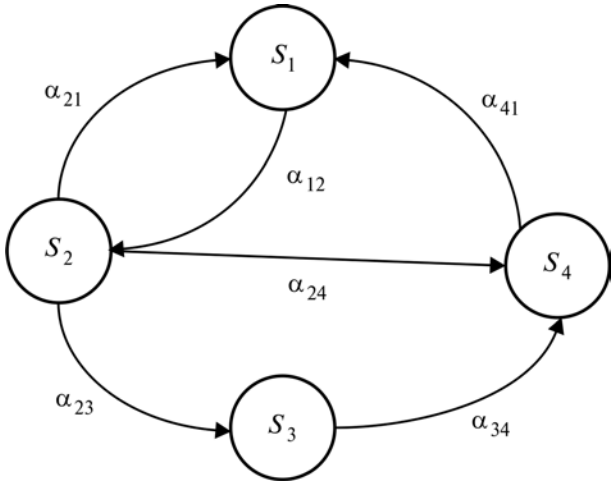
A — квадратная матрица интенсивностей $\alpha_{i,j}$ переходов из состояния с номером i в состояние с номером j.

Начальное условие $p(0) = (1\ 0\ 0 \ldots 0)^{\mathrm{T}}$ означает, что в начальный момент времени изделие находится в работоспособном состоянии (разумеется, возможны и другие варианты задания начальных условий). Если ребро (i, j) в графе G отсутствует, то полагают $\alpha_{i,j} = 0$.

Диагональные элементы матрицы A не самостоятельны, они полностью определяются остальными элементами матрицы соответствующей строки матрицы A:

$$\alpha_{i,i} = -\sum_{j \neq i} \alpha_{i,j}.$$

Во всех остальных клетках матрицы A стоят интенсивности в естественном порядке: на пересечении строки с номером i и столбца с номером j стоит интенсивность $\alpha_{i,j}$ перехода из состояния с номером i в состояние с номером j.



Граф состояния работы сборочного оборудования

В данной работе предложено рассмотреть пример моделирования исследования надежности и работоспособности сборочного устройства [2]. Сборочное устройство может находиться в следующих режимах работы:

S_1 — работоспособное состояние;

S_2 — состояние планового технического обслуживания (ТО);

S_3 — аварийное состояние;

S_4 — состояние аварийно-восстановительного ремонта.

На рисунке изображена диаграмма графа, соответствующая этой модели. Интенсивности $\alpha_{i,j}$ будем определять следующим образом:

$\alpha_{12} = \frac{1}{T_1}$, где T_1 — среднее время работы до планового ТО;

$\alpha_{21} = \frac{1}{T_2}$, где T_2 — среднее время выполнения планового ТО;

$\alpha_{23} = \frac{1}{T_3}$, где T_3 — среднее время работы до аварии после планового ТО;

$\alpha_{24} = \frac{1}{T_4}$, где T_4 — среднее время подготовки к проведению аварийно-восстановительного ремонта;

$\alpha_{34} = \frac{1}{T_5}$, где T_5 — среднее время нахождения в аварийном состоянии;

$\alpha_{41} = \frac{1}{T_6}$, где T_6 — среднее время выполнения аварийно-восстановительного ремонта.

Матрица интенсивностей перехода имеет вид:

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{1}{T_1} & \frac{1}{T_1} & 0 & 0 \\ \frac{1}{T_2} & -\left(\frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_3} + \frac{1}{T_4}\right) & \frac{1}{T_3} & \frac{1}{T_4} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_5} & \frac{1}{T_5} \\ \frac{1}{T_6} & 0 & 0 & -\frac{1}{T_6} \end{pmatrix}.$$

Так как основным параметром надежности является вероятность безотказной работы системы, которая в нашем случае равна вероятности работоспособного состояния $p_1(t)$, а другим важным параметром надежности является среднее время безотказной работы системы и в данном случае оно определяется формулой:

$$T = \int_0^\infty p_1(t)dt,$$

то решим систему Колмогорова с полученной матрицей A интенсивностей перехода. Решение системы Колмогорова проведем с использованием программного продукта MathCAD. Это позволит нам получить нужные вероятности того, что система находится в определенном состоянии. Затем на ПЭВМ автоматизировано определяем параметры надежности системы: вероятность безотказной работы системы $p_1(t)$ и среднее время безотказной работы T.

Вывод

Использование математического моделирования надежности и работоспособности сборочных устройств позволяет прогнозировать долговечность используемого оборудования, а также определять срок проведения планового и внеочередного технического обслуживания, капитального ремонта и других мероприятий по оценке эксплуатационных характеристик технических систем.

Библиографический список

1. **Каштанов В.А., Медведев А.И.** Теория надежности сложных систем / учеб. пособие. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 608 с.

2. **Марихов И.Н.** Обоснование предельной скорости подвода и отвода от узла исполнительного органа сборочного оборудования // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2006. № 3. С. 12—16.

ООО "Издательство Машиностроение"
продолжает подписку на журнал

"СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ"

- ☑ *За наличный и безналичный расчет.*
- ☑ *С любого номера и на любой срок.*
- ☑ *Без почтовых наценок.*

Присылайте заказ и обращайтесь за дополнительной информацией в отдел продаж, маркетинга и рекламы:

107076, г. Москва, Стромынский пер., д. 4,
Тел.: (499) 269-66-00, 269-52-98, факс: (499) 269-48-97
e-mail: realiz@mashin.ru, www.mashin.ru

УДК 621.039.533

Д.В. Харитонов, И.В. Поляков, Ю.А. Киселев, А.А. Королёв, Н.С. Серов
(*ОАО "ОКБМ Африкантов", г. Нижний Новгород*)
E-mail: afanasyeva@okbm.nnov.ry

Особенности технологии разборки реактора с жидкометаллическим теплоносителем для обеспечения выгрузки тепловыделяющих сборок

Приведен общий вид выгружаемого реактора, дано обоснование выбранной технологии, представлены основные этапы процесса производства работ, описаны способы их выполнения с помощью специальной оснастки, спроектированной ОАО "ОКБМ Африкантов". Даны предложения по использованию описанной технологии для утилизации реакторов с жидкометаллическим теплоносителем.

The paper gives brief historical note, general view of unloaded reactor, validation of the process selected, main stages of work production, methods of fulfillment using special tool set designed at JSC "Afrikantov OKBM". The proposals are given how to use the described process for liquid-metal reactor disposal.

Ключевые слова: реакторная установка, жидкометаллический теплоноситель, утилизация АПЛ, консервация реактора, демонтаж реактора, кантовка реактора, специальная технологическая оснастка, разогрев сплава, срезка днища, выгрузка ОЯТ, контейнер для ТРО.

Keywords: reactor plant, liquid-metal coolant, submarine disposal, reactor preservation, reactor dismounting, reactor tilting, special tool set, alloy heating up, bottom cutting off.

Первая опытная атомная подводная лодка (АПЛ) в серии кораблей проекта 705 была введена в строй в 1970 г. На лодке этого проекта была использована реакторная установка с реактором ОК-550 (рис. 1) с жидкометаллическим теплоносителем. В качестве теплоносителя использовался сплав свинца и висмута.

В 1972 г. ввиду выхода из строя вспомогательных трубопроводов I контура было принято решение о прекращении эксплуатации АПЛ и проведении ревизии. По результатам проведенной ревизии было принято решение об утилизации АПЛ. Все отсеки АПЛ, кроме реакторного, были утилизированы. Сплав из реактора был частично сдренирован (сплав в реакторе остался на уровне нижних обрезов патрубков задвижек), а оставшейся в реакторе сплав заморожен.

Реакторный отсек (РО) в 1983 г. был подготовлен к подводному захоронению (затоплению на морском полигоне), однако не был утилизирован в связи с присоединением России к международной Конвенции о запрещении захоронения в море радиоактивных отходов и хранился до 2011 г. в береговом хранилище в губе Сайда (Мурманская область).

Для подготовки к безопасному хранению в РО был выполнен следующий комплекс работ:

- реактор отсечен от I контура отрезкой трубопроводов к задвижкам и приваркой к задвижкам заглушек;
- стержни исполнительных механизмов системы управления и защиты (ИМ СУЗ) опущены в нижнее положение и застопорены, сплав в чехлах "заморожен";
- все свободные объемы в корпусе реактора (входная и выходная камеры, чехлы ИМ СУЗ, полость между корпусом реактора и рубашкой парового обогрева, змеевики охлаждения/разогрева отработавшей выемной части (ОВЧ) и стойки ИМ СУЗ) заполнены твердеющим консервантом, не растворяющимся в воде;
- часть РО заполнена специальным битумом, для чего в отсеке установлена нештатная переборка, ограничивающая пространство вокруг реактора над баком свинцово-водной защиты (СВЗ).

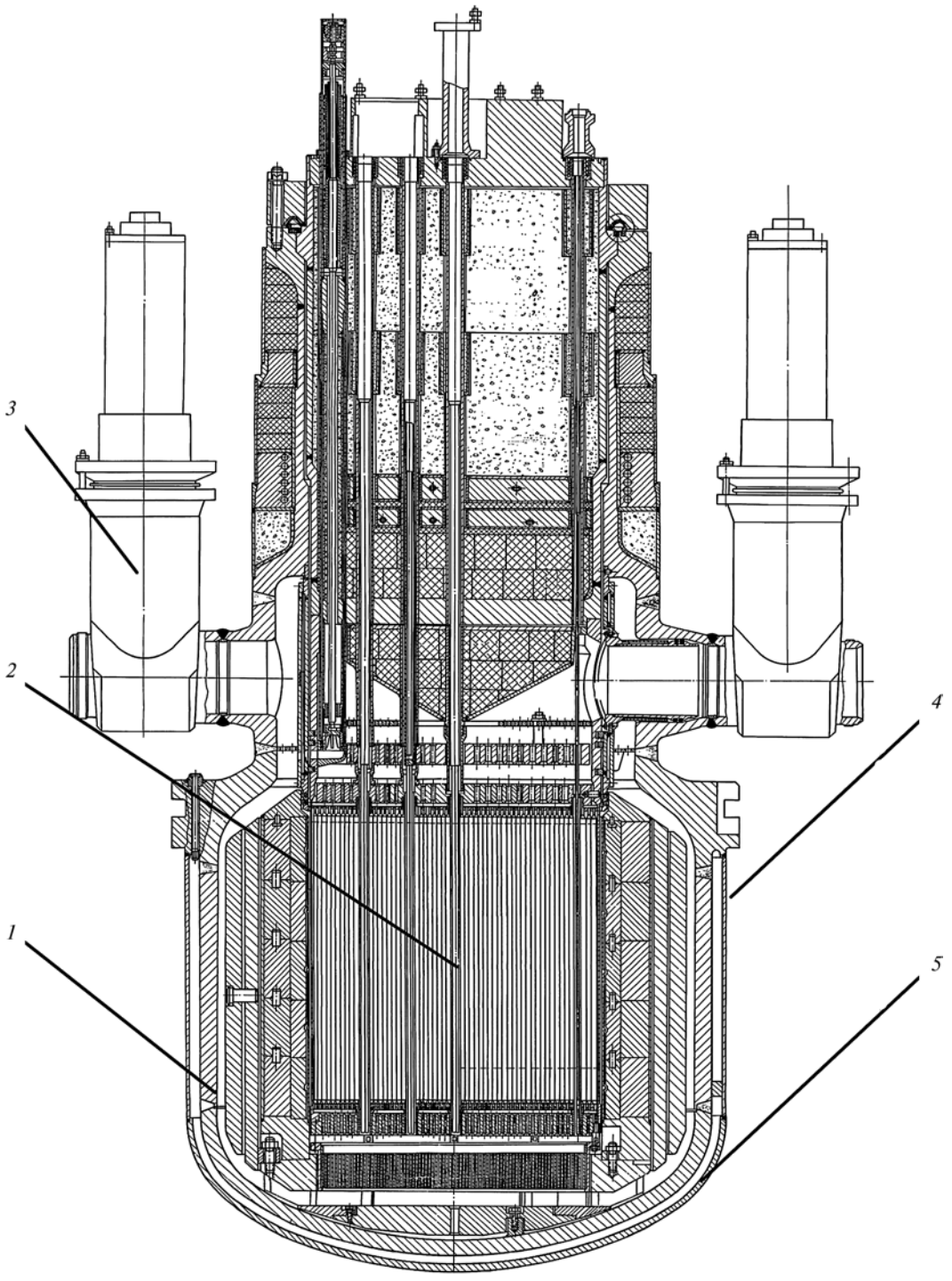


Рис. 1. Реактор ОК-550 (сечение по диаметральной плоскости):
1 — рубашка парового обогрева; *2* — активная зона; *3* — задвижка; *4* — корпус реактора; *5* — днище корпуса реактора

Комплекс принятых мер обеспечил надежную изоляцию радиоактивных материалов от контакта с внешней средой и обеспечивает ядерную, радиационную и экологическую безопасность.

Реализованный способ консервации реактора с не выгруженной активной зоной (АЗ) исключает операцию выгрузки ОВЧ реактора по штатной технологии с использованием унифицированного перегрузочного оборудования.

В связи с этим ОАО "ОКБМ Африкантов" был предложен вариант нештатной технологии поштучной выгрузки кассет АЗ с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) из реактора АПЛ.

Работы по утилизации начали в 2010 г. с использованием технологического оборудования, разработанного "ОКБМ Африкантов" и выполняли силами специалистов отделения "Гремиха" Центра по обращению с РАО СЗЦ "СевРАО" — филиала ФГУП "РосРАО" при техническом сопровождении ОАО "ОКБМ Африкантов" и ФГУП "ГНЦ РФ-ФЭИ" (в части физического и температурного контроля).

Одина из наиболее трудоемких работ заключалась в удаление битума из РО. Роль битума заключалась в создании барьера между реактором и морской водой в случае ее попадания в отсек. Для обеспечения максимальной защиты реактора в битум при заливке были введены добавки, повышающие его текучесть и стойкость к пониженным температурам.

Благодаря свойству высокой текучести битум за 30 лет нахождения в РО проник во все, даже незначительные по размерам, полости. За пять месяцев выполнения работ из РО было извлечено более 108 т битума (рис. 2 на стр. 2 обложки), что обеспечило выполнение работ по демонтажу реактора с применением электро- и газовой резки, не опасаясь возникновения пожара в отсеке.

Для обеспечения демонтажа реактора были выполнены работы по срезке защитного барабана и крепления реактора к опорному фланцу. Выполнение работ осложнялось теснотой при резке и ухудшением радиационной обстановки при удалении каждой последующей части барабана, который изначально проектировался как неразборная конструкция.

Подрыв реактора был выполнен с применением четырех пятидесятитонных гидравлических домкратов, после чего реактор был демонтирован из РО АПЛ (рис. 3 на стр. 2 обложки) и установлен в кантователь (рис. 4).

В кантователе с помощью газовой резки были отрезаны задвижки реактора и на их место установлены и приварены заглушки.

После этого реактор был перекантован на 180° вверх днищем (рис. 5 на стр. 2 обложки) и с помощью траверсы установлен на постамент (рис. 6 на стр. 2 обложки), в котором был выполнен комплекс работ, обеспечивший разогрев сплава, слив сплава из реактора и поштучную выгрузку кассет АЗ с ОЯТ из реактора.

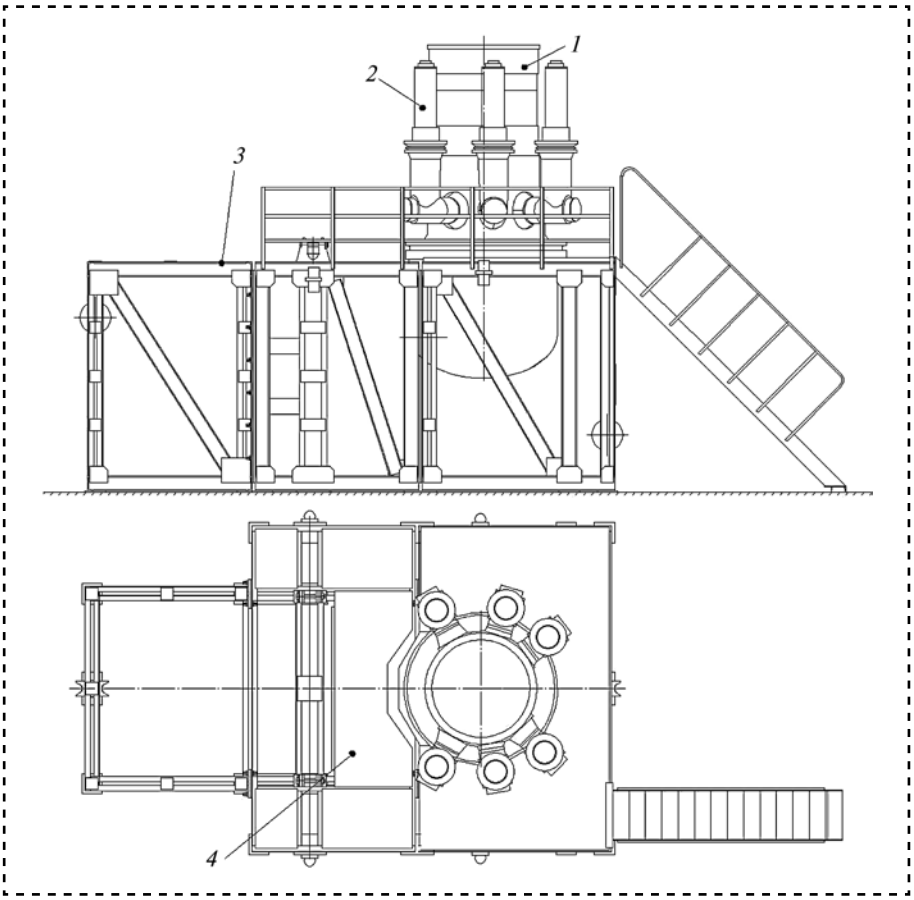


Рис. 4. Установка реактора в кантователь:
1 — реактор; *2* — задвижка; *3* — кантователь; *4* — настил

В постаменте с помощью специального приспособления была срезана и демонтирована рубашка парового разогрева реактора, после чего был удален консервант с корпуса реактора и срезано днище корпуса реактора.

Для разогрева сплава были изготовлены и смонтированы на реактор система разогрева и слива сплава и система отбора газа при разогреве сплава (рис. 7 на стр. 2 обложки).

После слива сплава (рис. 8 на стр. 3 обложки) и охлаждения реактора на воздухе при температуре 30...40 °С в районе проведения работ были демонтированы система разогрева и слива сплава, система отбора газа при разогреве сплава.

Затем к днищу реактора были приварены специальные накладки, на которых закрепили центрирующую плиту, соосно которой установили контейнер (рис. 9).

Далее днище реактора с экранами было втянуто в контейнер, установлено в нем на упорах

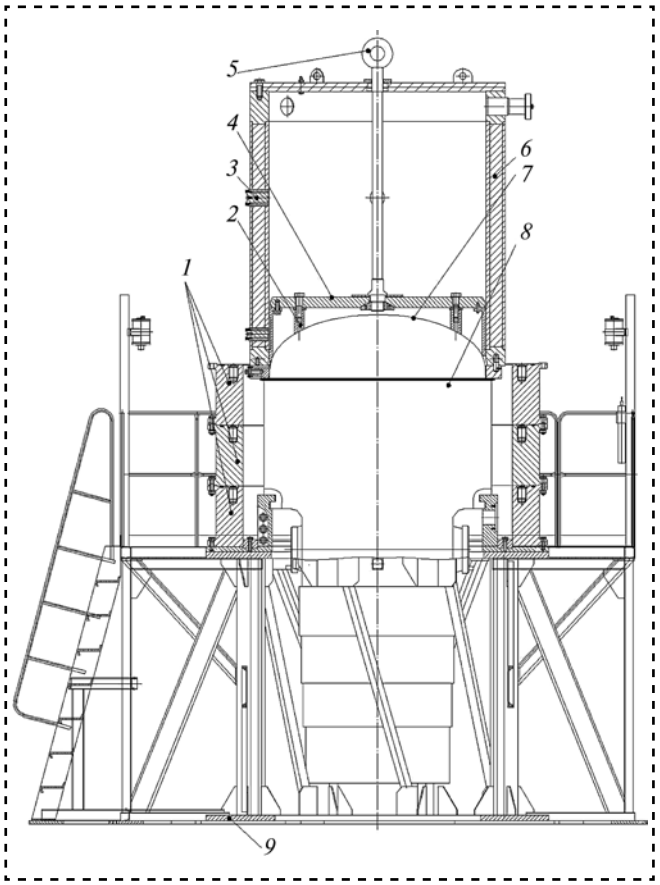


Рис. 9. Установка плиты центрирующей на днище реактора и контейнера:
1 — защитные опоры (3 шт.); *2* — специальные накладки (4 шт.); *3* — пробка; *4* — центрирующая плита; *5* — рым-болт; *6* — контейнер; *7* — днище реактора; *8* — теплообменник; *9* — постамент

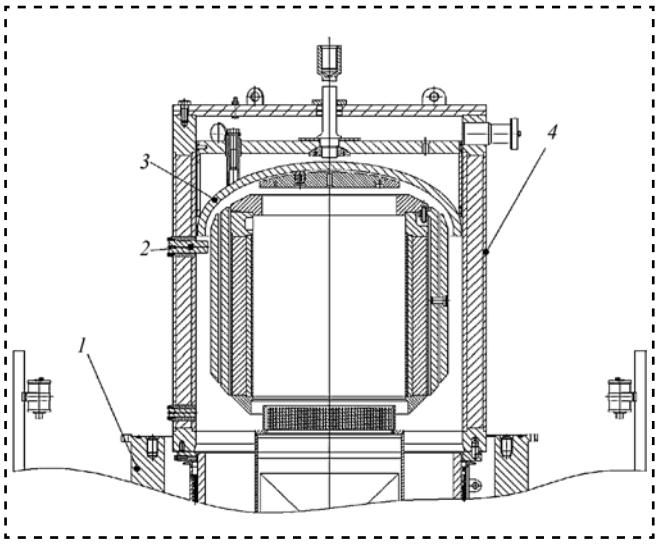


Рис. 10. Установка днища реактора с экранами в контейнере на упорах:
1 — защитная опора; *2* — упор; *3* — днище реактора с экранами; *4* — контейнер

(рис. 10) и с помощью контейнера и траверсы демонтировано (рис. 11 на стр. 3 обложки).

Далее были установлены верхняя опора защитная на постамент и центрирующее устройство ОВЧ в корпус реактора (рис. 12 на стр. 3 обложки).

Через отверстия в плите наведения были откручены специальным ключом гайки крепления фильтра и перемещены с помощью "захвата" ключа в контейнер для хранения твердых радиоактивных отходов (ТРО).

С помощью специального устройства для демонтажа фильтра, закрепленного на технологической плите *1* (рис. 13), был извлечен фильтр *3* из корпуса реактора.

Фильтр после "захвата" устройством был перемещен в специальный контейнер для ТРО (рис. 14 на стр. 3 обложки).

Через отверстия в плите наведения были откручены специальным ключом болты крепления нижней плиты к обечайке ОВЧ, болты крепления кассет АЗ к нижней плите и перемещены с помощью "захвата" ключа в контейнер для хранения ТРО.

С помощью специального приспособления для подрыва и демонтажа плиты (рис. 15 на стр. 3 обложки), закрепленного на технологической плите, была извлечена нижняя плита из обечайки ОВЧ (рис. 16). После "захвата" устройством нижняя плита была перемещена в специальный контейнер для ТРО.

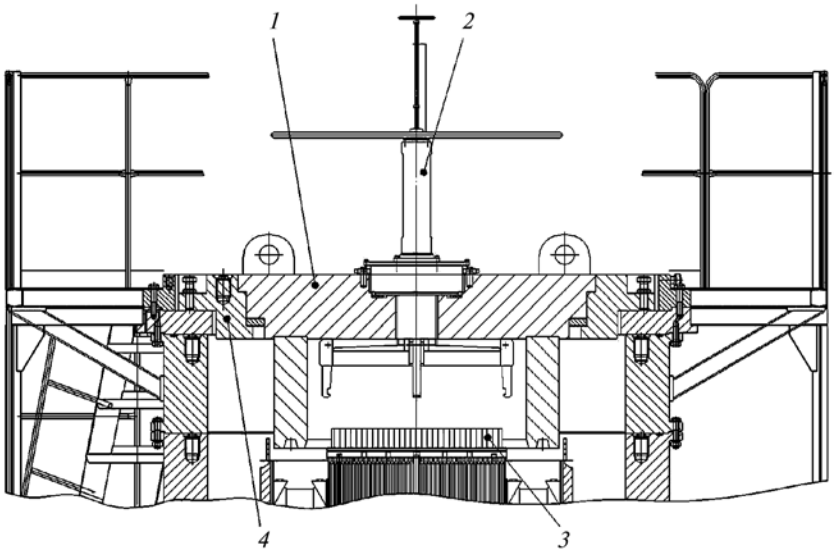


Рис. 13. Установка устройства для демонтажа фильтра:
1, *4* — технологические плиты; *2* — специальное устройство для демонтажа фильтра; *3* — фильтр

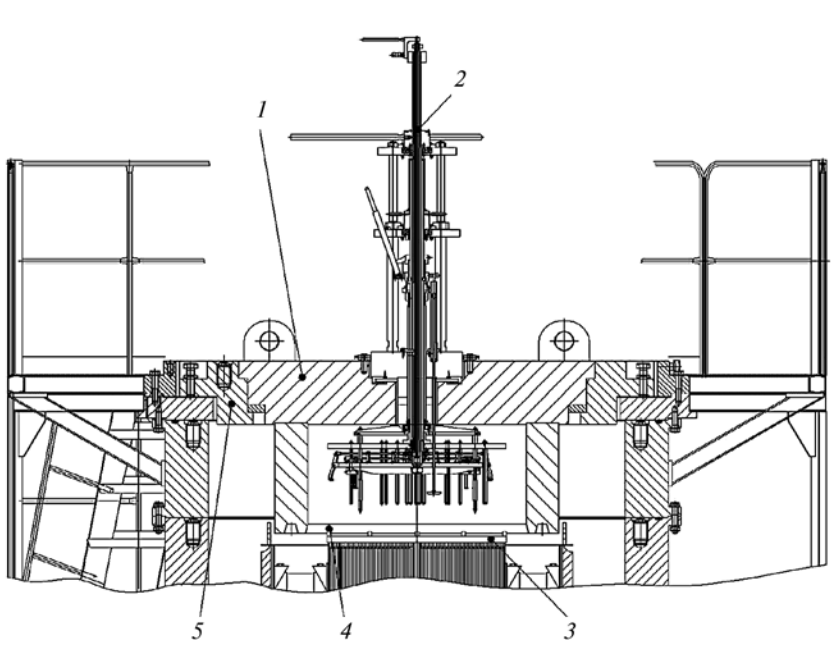


Рис. 16. Демонтаж плиты:
1, *5* — технологические плиты; *2* — специальное приспособление для подрыва и демонтажа плиты; *3* — плита; *4* — стяжки (4 шт.)

Через отверстия в плите наведения были откручены специальным ключом болты крепления периферийных кассет АЗ к фланцу обечайки ОВЧ и перемещены с помощью "захвата" ключа в контейнер для хранения ТРО.

Отрезку фланца обечайки ОВЧ с последующим перемещением в контейнер для хранения ТРО выполняли специальным станком для срезки нижнего фланца.

Далее выгрузку кассет АЗ с ОЯТ из корпуса реактора проводили в соответствии с разработанной технологической последовательностью выгрузки с помощью специально разработанных приспособлений и оснастки (рис. 17 на стр. 3 обложки).

После выгрузки кассет АЗ с ОЯТ специальное устройство для центровки ОВЧ было демонтировано. Выполнена консервация ОВЧ, для чего в ОВЧ была установлена специальная корзина, заполненная бетоном. Такая конструкция позволит выполнить последующий демонтаж труб СУЗ (в случае необходимости). Днище реактора с экранами установлено на штатное место и заварено. Затем реактор был перекантован в кантователе днищем вниз и установлен на штатное место в РО.

Примененная технология и разработанная специальная оснастка позволили выполнить уникальные работы по выгрузке кассет АЗ с ОЯТ из реактора АПЛ проекта 705. Приемы и методы, а также большая часть изготовленной специальной оснастки могут быть использованы и при утилизации реакторов с жидкометаллическим теплоносителем АПЛ проектов 705К и 645.

УДК 621.923

Д.И. Волков, *д-р техн. наук*
(*Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева*),
А.В. Толкачев
(*НПО "Сатурн", г. Рыбинск*)
E-mail: aleksandr.tolkachev@npo-saturn.ru

Снятие нагара с направляющих аппаратов газотурбинного двигателя с использованием виброабразивной обработки

Представлены результаты исследования способа очистки направляющих аппаратов газотурбинного двигателя при обработке в торовых вибрационных полировальных установках.

The results of research of way of cleaning on distributors of gas turbine during of processing on a torus vibration polishing installations was presents.

Ключевые слова: вибрационное полирование, направляющий аппарат, абразивная гранула.

Keywords: vibration polishing, distributor, abrasive granule.

При ремонте газотурбинного двигателя производится его разборка, дефектация, ремонт и восстановление деталей, устранение выявленных несоответствий, замена непригодных деталей и последующая сборка. Самым распространенным типом операций при ремонте является очистка поверхностей деталей от эксплуатационных загрязнений.

В случае разборки двигателя на отдельные детали существуют следующие риски:

- повреждение деталей в процессе разборки;
- повреждение деталей при сборке;
- снижение точности сборочной единицы.

Кроме того, каждая дополнительная операция увеличивает стоимость проводимых работ. По этой причине современной тенденцией является проведение очистки поверхностей деталей без полной разборки узлов в тех случаях, когда это возможно. Так при ремонте современного газотурбинного двигателя (ГТД) требуется очистка направляющих аппаратов от эксплуатационных загрязнений.

С целью минимизации затрат на проведение ремонта и сохранения точностных характеристик данной сборочной единицы ее ремонт производится в собранном состоянии.

На операциях очистки решаются следующие задачи:

1) удаление эксплуатационных загрязнений;

2) обеспечение требуемой шероховатости поверхностей;

3) сохранение точности сборочной единицы.

Для удаления эксплуатационных загрязнений может применяться химический или механический способ. В случае применения химически активных веществ их остатки задерживаются в стыках между деталями, что приводит в дальнейшем к повреждению поверхностного слоя в данной зоне. По этой причине химический способ применяют для удаления загрязнений с отдельных деталей, которые могут быть после этого легко промыты. Таким образом, для очистки сборочных единиц наиболее приемлемым является механический способ удаления эксплуатационных загрязнений. Удаление загрязнений с использованием ручного слесарного инструмента является трудоемким процессом, а результат такой обработки полностью зависит от квалификации исполнителя. Поэтому целесообразна полная механизация очистки [1].

Для механизации очистки направляющих аппаратов ГТД была использована торовая виброполировальная установка типа ТВУ-80-1М с центральной частью. Обработку производили при частоте колебаний 25 Гц и амплитуде 3 мм абразивными гранулами ПТ6. Габариты рабочей камеры установки ограничили габариты направляющих аппаратов следующими преде-

Рис. 1. Направляющий аппарат в рабочей камере виброполировальной установки

лами: наружный диаметр не более 740 мм, внутренний диаметр не менее 300 мм. Трудоемкость обработки на виброполировальной установке может быть снижена в 2—2,5 раза. Направляющий аппарат, закрепленный в виброполировальной установке, представлен на рис. 1.

Эскиз направляющего аппарата в разрезе с зонами, подлежащими очистке от эксплуатационных загрязнений (выделено утолщенной линией) показан на рис. 2. От загрязнений должна быть очищена вся проточная часть, включая соответствующие поверхности наружного и внутреннего колец, перо лопатки и радиусы перехода.

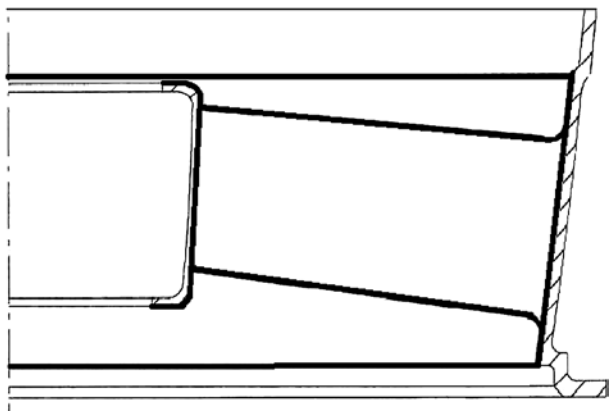


Рис. 2. Эскиз направляющего аппарата в разрезе

Кроме диаметральных размеров направляющие аппараты отличаются по ряду других характеристик, влияющих на технологичность операции их очистки. В таблице приведены характеристики направляющих аппаратов, для которых может быть эффективно использован метод очистки виброполировальным способом в установке ТВУ-80-1М.

Характеристики направляющих аппаратов

Характеристики	Значение	
Габариты	Внутренний диаметр не менее 300 мм; наружный диаметр не более 740 мм; высота не более 300 мм	
Достижимое значение параметра шероховатости	при исходном *Ra*2,4	до *Ra* 1,6
	при исходном *Ra*1,6	до *Ra* 0,8
Материал		Сталь, сплавы на основе титана
Расстояние между лопатками		Не менее 12 мм
Допустимый съем основного материала с проточной части		Не более 10 мкм

Минимальное расстояние между лопатками является важным параметром, определяющим время удаления эксплуатационных загрязнений. Экспериментально была установлена зависимость требуемого времени от расстояния между лопатками (на рис. 3).

При расстоянии между лопатками менее 12 мм возникает эффект заклинивания абразивных гранул между двумя соседними лопатками [1]. При 80 мм расстояние между лопатками перестает влиять на время, требуемое для очистки детали от загрязнений.

Как было указано в таблице, на проточной части направляющих аппаратов в основном используется два основных значения параметра шероховатости: *Ra* 1,6 и *Ra* 0,8. Возникшие эксплуатационные загрязнения и микро-

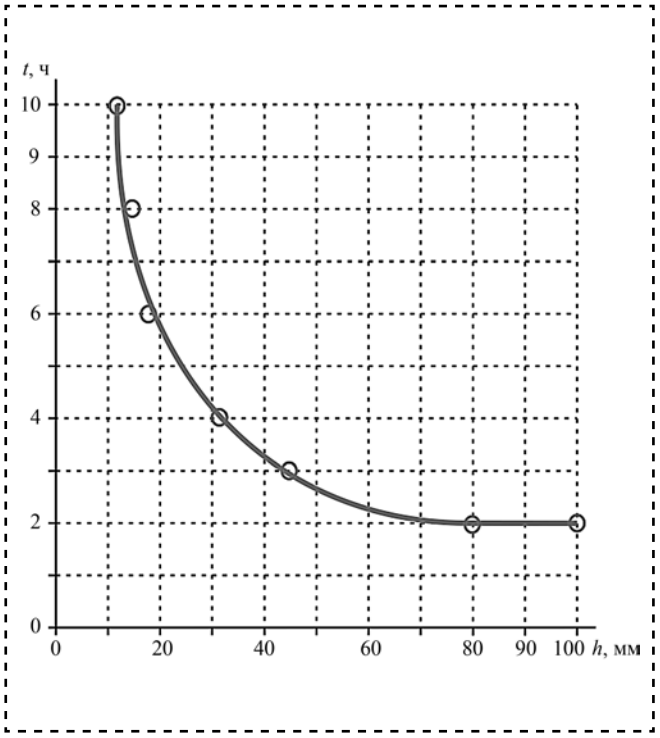


Рис. 3. Зависимость времени обработки от расстояния между лопатками

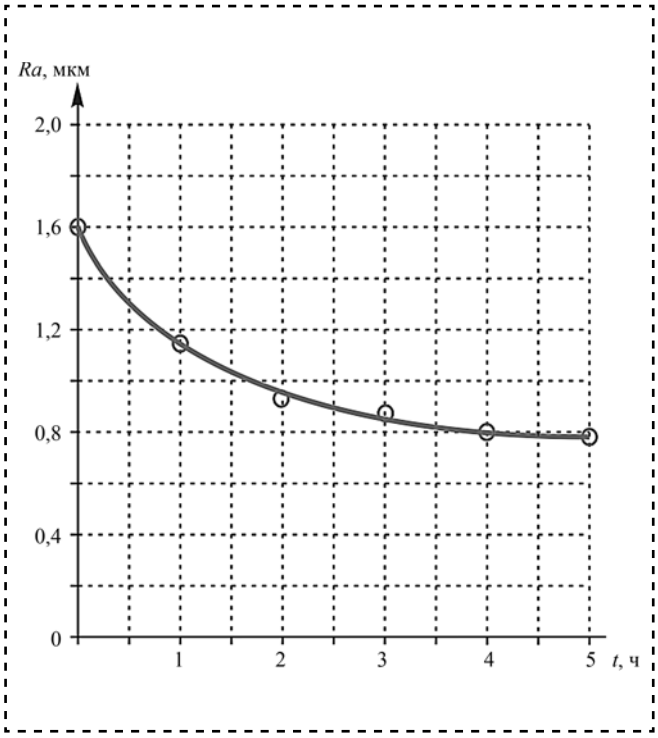


Рис. 4. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от продолжительности обработки

повреждения поверхности приводят к ухудшению параметров шероховатости до *Ra* 2,4 и *Ra* 1,6 соответственно. На рис. 4 представлен экспериментальный график зависимости изменения шероховатости от времени обработки. Начальный параметр шероховатости обрабатываемой поверхности составлял *Ra* 1,6.

Достижение требуемой шероховатости в большинстве случаев происходит раньше, чем полностью завершится удаление эксплуатационных загрязнений, что связано с их глубоким проникновением в микронеровности поверхности, для полного удаления загрязнений требуется удалить и основной материал в пределах высоты микронеровностей имевшихся на новой детали. После нескольких часов обработки достигнутая шероховатость стабилизируется, и дальнейшая обработка без смены абразива не приводит к существенному улучшению шероховатости [2].

Для сохранения точности сборочной единицы перед проведением виброполировальной обработки производили изоляция всех посадочных поверхностей и всех крепежных отверстий. При обработке проточной части детали с незащищенных посадочных поверхностей будет происходить существенный съем материала. На рис. 5 представлен график зависимости съема материала от времени обработки.

Съем материала составляет несколько микрометров. На начальном этапе обработки съем материала более интенсивный из-за того, что происходит удаление изначального микрорельефа поверхности. После нескольких часов обработки начальный микрорельеф удаляется, и динамика увеличенья снятого слоя снижается [2]. Для посадочных поверхностей, выполненных с высокой точностью, съем материала в несколько микрометров является недопустимым и приводит к потере точности сборочной единицы. Для поверхностей проточной части направляющего аппарата такой съем допустим и не приводит к изменению эксплуатационных характеристик. Заложенный изначально припуск материала позволяет дважды производить данный ремонт направляющих аппаратов.

Описанные исследования были проведены при отладке технологического процесса очистки направляющих аппаратов. В серийном про-

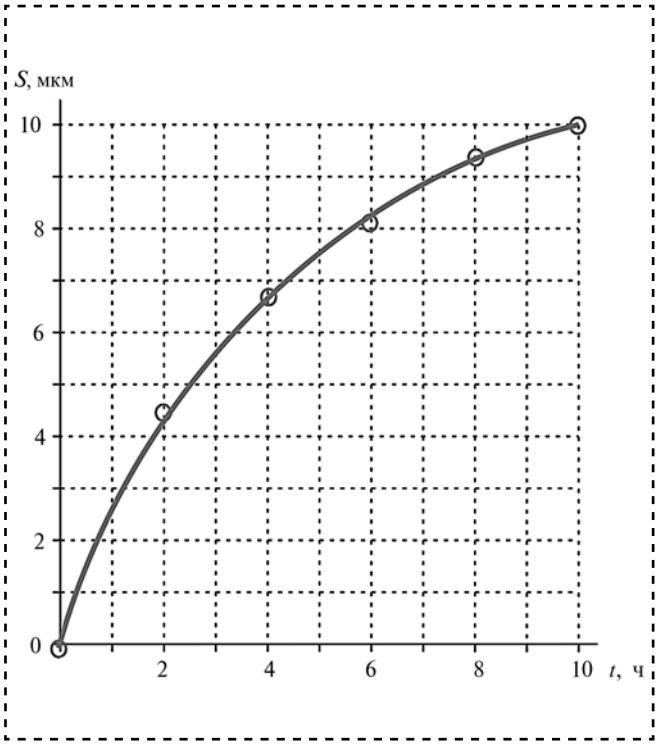


Рис. 5. Зависимость съема материала от времени обработки

Рис. 6. Очищенный направляющий аппарат и эталон

изводстве качество произведенного ремонта проверяется путем сравнения обработанной детали с эталоном. На рис. 6 представлены направляющий аппарат после виброполировальной обработки и эталон.

В верхней части рисунка представлена обработанная деталь, в нижней части — эталон. Сравнение с эталоном позволяет оценить полноту удаления загрязнений и дефектов поверхности, а также уровень достигнутой шероховатости. После прохождения указанной контрольной операции и подтверждения годности деталь передают на сборку и снова устанавливают на двигатель.

Таким образом, все поставленные задачи по обеспечению требуемых характеристик направляющих аппаратов были выполнены и достигнут ряд дополнительных результатов:

1) отработана технология удаления эксплуатационных загрязнений с деталей компрессора ГТД, сохраняющая точность и работоспособность сборочной единицы;

2) определены режимы обработки, обеспечивающие требуемую шероховатость проточной части лопаток;

3) установлено, что использование данного способа очистки позволяет снизить трудоемкость операции, повысить стабильность получаемого результата за счет минимизации влияния человеческого фактора;

4) установлены ограничения к направляющим аппаратам, для которых может быть применена очистка с использованием виброполировального оборудования. Основным ограничением является расстояние между лопатками. Так при расстоянии менее 12 мм процесс очистки замедляется из-за заклинивания абразивных гранул;

5) определены ограничения по времени обработки габаритам деталей и допустимому съему основного материала.

Библиографический список

1. **Макеев Р.И., Толкачев А.В.** Виброполировальная обработка в современном технологическом процессе // Упрочняющие технологии и покрытия. 2006. № 4. С. 49—50.

2. **Бабичев А.П., Мотренко П.Д.** Применение вибрационных технологий для повышения качества и эксплуатационных свойств деталей. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2005. 215 с.

УДК. 621.192

В.М. Труханов, *д-р техн. наук,* **Ю.И. Крыхтин,** *канд. техн. наук*
(*Волгоградский государственный технический университет*)
E-mail: app@vstu.ru

Повышение функциональных свойств многовального механизма передач и поворота с современными фрикционными материалами для легкой гусеничной машины

Предложен двухпоточный при прямолинейном движении и повороте недифференциальный механизм поворота. Механизм имеет три шестеренчатых привода с индивидуальными фрикционами от трех постоянно вращающихся с разными скоростями валов к солнечной шестерне суммирующего планетарного ряда на каждом борту в четырехвальном механизме передач и поворота.

Представлены расчетные зависимости для определения основных показателей механизма поворота, результаты расчета.

It is offered the 2nd stream at rectilinear movement and turning not differential turn mechanism with 3 gear drives with individual friction clutches from the 3rd shaft constantly rotating with different speeds to a solar gear wheel of a summarizing planetary row on each board in the 4th free mechanism of transfers and turn.

The calculated dependences for determination of the main indicators of the mechanism of turn, results of calculation.

Ключевые слова: планетарный ряд, дополнительный поток, шестерня, механизм поворота, трансмиссия, фрикцион.

Keywords: planetary series; additional flow; gear; turning mechanism; power transmission; friction.

Предлагаемое техническое решение предназначено к использованию в транспортных гусеничных машинах (ГМ).

Двухпоточная трансмиссия легкого артиллерийского гусеничного тягача описана в работе [1].

Недостатком указанной трансмиссии является наличие только одного расчетного ресурса поворота на каждой передаче в коробке перемены передач (КПП), что связано с потерями мощности во фрикционном устройстве при повороте с радиусами, отличными от расчетного и приводит к ухудшению экономичностм и поворотливости машины.

В механических трансмиссиях быстроходных ГМ целесообразно иметь многорадиусный механизм поворота (МП). Трансмиссии, обеспечивающие большое число расчетных радиусов поворота (более колеи машины), более совершенные.

Предлагаемое техническое решение исключает указанные недостатки трансмиссии, улучшает поворотливость машины.

Целью предлагаемого технического решения является получение второго расчетного радиуса поворота на каждой передаче.

Новизной предлагаемого технического решения является то, что в трансмиссии на каждом борту машины промежуточный вал соединен фрикционным элементом управления через зубчатую передачу с ведущей шестерней зубчатой передачи, связывающей дополнительный вал с солнечной шестерней суммирующего планетарного ряда механизма поворота.

Известен четырехвальный двухпоточный механизм передач и поворота (МПП) с первым индивидуальным расчетным радиусом поворота на каждой передаче в КПП (рис. 1) [2].

Кинематическая схема предлагаемой трансмиссии с новым МПП для гусеничной машины показана на рис. 2.

В едином литом картере 25 имеются три приблизительно одинаковые по ширине сектора. В центральном секторе картера размещена редукторная часть (КПП), а в боковых секторах картера — двухпоточные недифференциальные

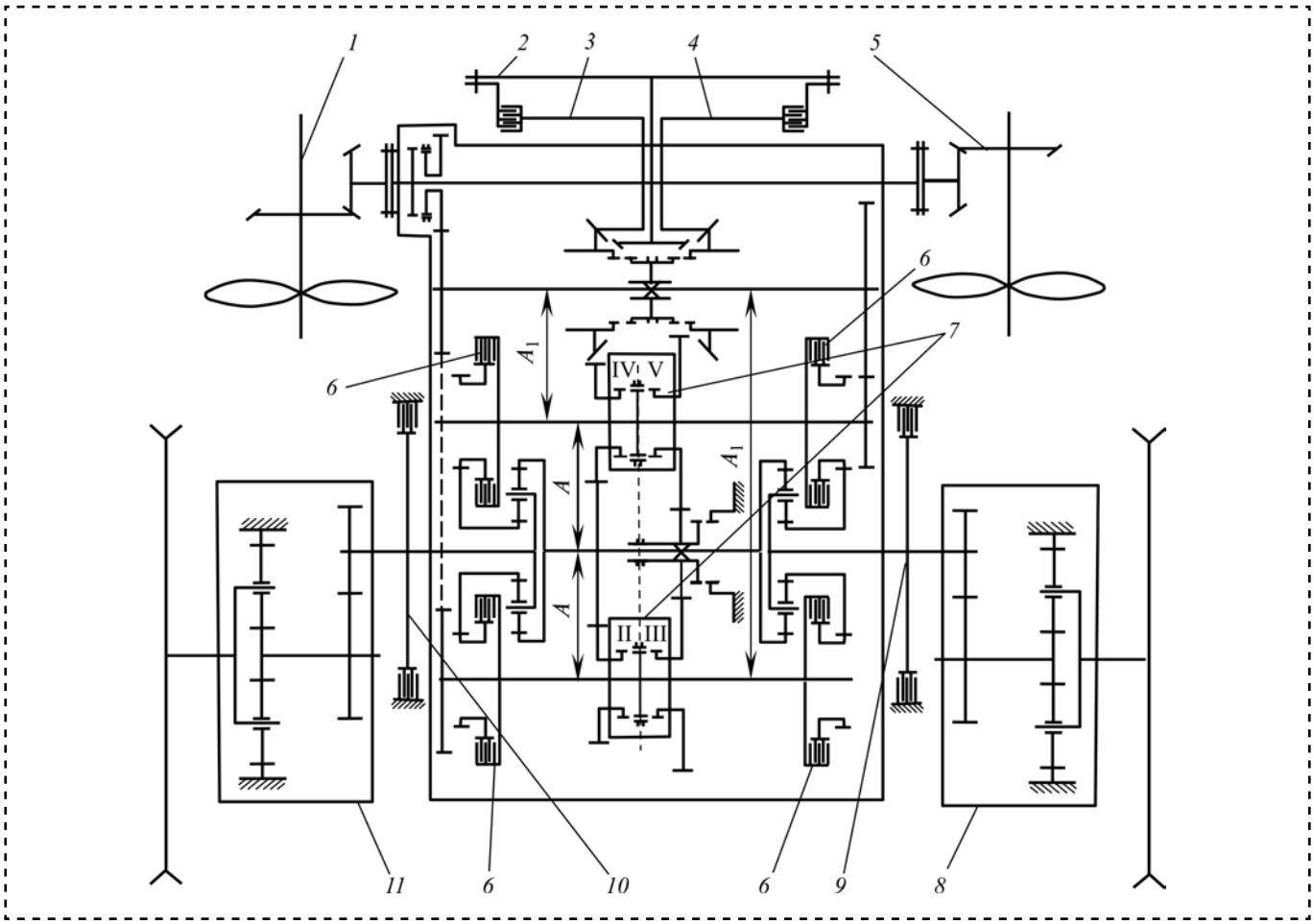


Рис. 1. Кинематическая схема трансмиссии с двухпоточным четырехвальным МПП:
1, *5* — движители водометные; *2* — двигатель; *3* — главный фрикцион; *4* —МПП; *5* — фрикционные муфты поворота и прямолинейного движения; *7* — синхронизаторы КПП; *8*, *11* — бортовые редукторы; *9*, *10* — тормоза остановочные: *A*, A_1 — межцентровые расстояния

планетарные МП и приводные шестерни дополнительных валов.

Редукторная часть пятискоростной КПП включает: ведущую коническую шестерню *1*, связанную через главный фрикцион (ГФ) с двигателем; ведомые конические шестерни *3* и *39*, промежуточный вал, состоящий из двух частей 7 и *28*, соединенных зубчатой муфтой *2*, которая одновременно служит для включения переднего или заднего хода в КПП; двух дополнительных валов *24* и 26, на центральных частях которых размещены элементы управления КПП *8* и свободно на подшипниках вращаются шестерни *4* и *10*, жестко связываемые поочередно через эти элементы управления с валами; грузовой вал *23*, с которым жестко соединены шестерни *13* и *14*. Части вала *7* и *28* жестко соединены с ведущими приводными шестернями *11* и *27*. Дополнительные валы *24* и *26* в секторах МП жестко соединены с ведомыми приводными шестернями *20* и *21*, а грузовой вал *23* (выходной вал КПП) жестко связан с эпициклами механизмов поворота *19*.

Для получения первой передачи грузовой вал *23* блокируется на картер *25* зубчатой муфтой *22* (остановленные эпициклы). В качестве элементов управления КПП в конструкции применены дисковые синхронизаторы *8* инерционного типа.

Механизм поворота включает суммирующий планетарный ряд с внутренним передаточным числом *"К"*, в состав которого входят эпици-

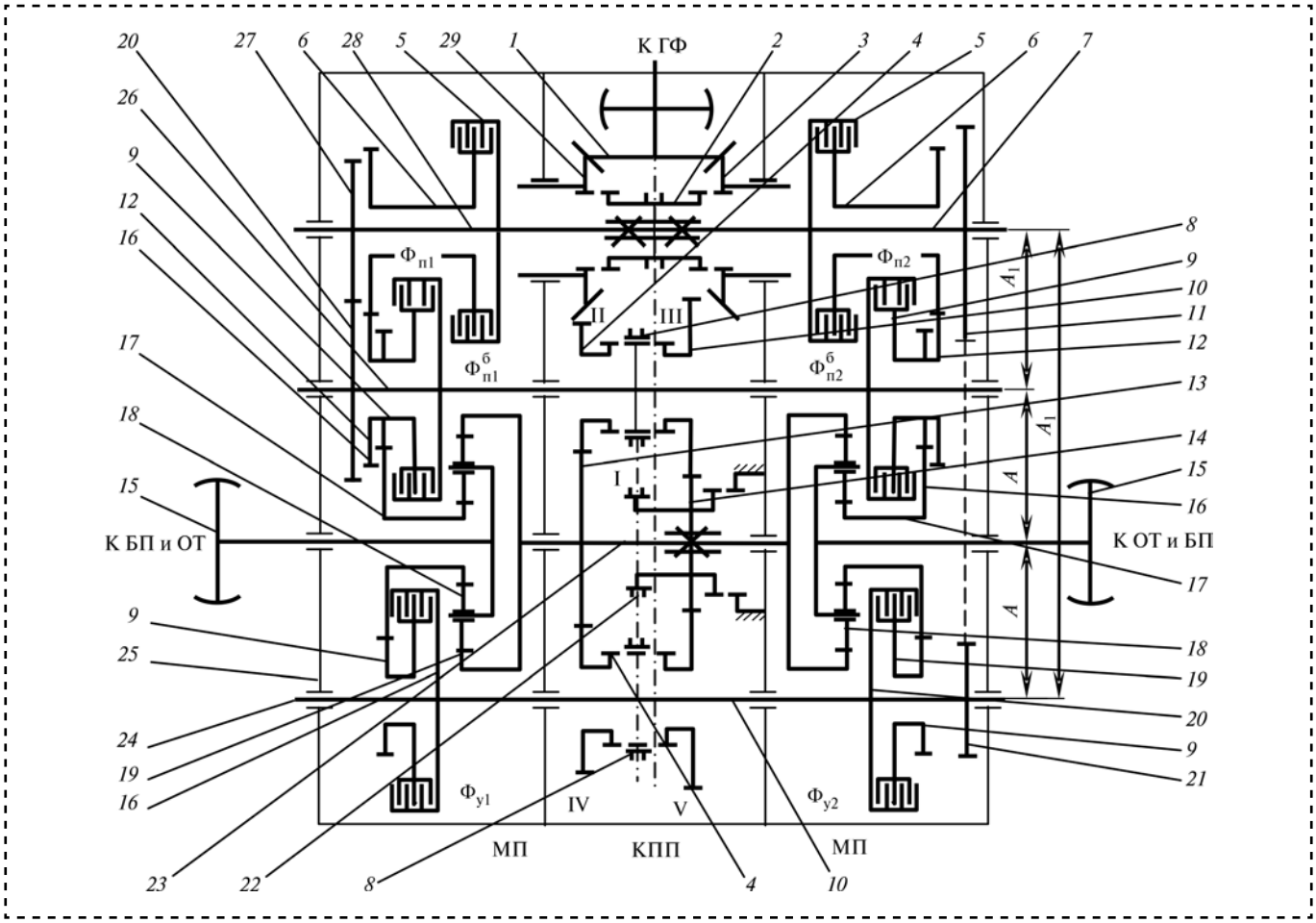


Рис. 2. Кинематическая схема трансмиссии с новым МПП:

1 — ведущая коническая шестерня; *2* — зубчатая муфта; *3*, *29* — ведомые конические шестерни; *4*, *10*, *13*, *14* — зубчатые венцы; *5* — ведущие элементы; *6* — элементы; *7*, *28* — части промежуточного вала; *8* — синхронизаторы; *9* — ведомые элементы; *11*, *27* — ведущие приводные шестерни; *12* — шестерни; *15* — водило; *16* — ведущие элементы; *17* — солнечная шестерня; *18* — сателлиты; *19* — эпициклы; *20*, *21* — ведомые приводные шестерни; *22* — зубчатая муфта; *23* — грузовой (выходной) вал; *24*, *26* — дополнительные валы; *25* — картер; МП — механизм поворота; ОТ — остановочный тормоз; БП — бортовая передача; *A* — межцентровое расстояние; I, II, III, IV, V — передачи в КП; $Ф_{у1}$, $Ф_{у2}$ — фрикционы ускоренного движения; $Ф_{п1}$, $Ф_{п2}$ — фрикционы поворота с 1-м расчетным радиусом, $Ф^{Б}_{п1}$, $Ф^{Б}_{п2}$ — фрикционы поворота со 2-м расчетным радиусом

клическая шестерня *19*, солнечная шестерня *17* с жестко связанным с ней зубчатым венцом, водило *15*, сателлиты *18* и три фрикционные муфты раздельного включения и выключения. Фрикционы $Ф_{у1}$, $Ф_{у2}$, $Ф_{п1}$ и $Ф_{п2}$ ведущими элементами *16* жестко связаны с дополнительными валами *24* и *26*, а ведомыми элементами *9* через одинаковые зубчатые передачи с зубчатым венцом, жестко связанным с солнечной шестерней *17*. Фрикционы $Ф^{Б}_{п1}$ и $Ф^{Б}_{п2}$ с ведущими элементами *5* жестко связаны с частями промежуточного вала *7* и *28*, а элементами *6* через зубчатую передачу с ведомыми элементами *9*, связываемыми с дополнительным валом *26* — валом замедленного вращения. Шестерни *12* при этом жестко связываются с ведомыми элементами *9*.

Водила *15* связаны через остановочные тормоза (ОТ) и бортовые передачи (БП) с ведущими колесами гусеничных движителей.

Фрикционные муфты с металлокерамическими дисками или фрикционным дисками с комбинированной поверхностью трения, работающими в масле [5] $Ф_{у1}$ и $Ф_{у2}$ — фрикцио-

ны прямолинейного движениям; $\Phi_{п1}$ и $\Phi_{п2}$ — фрикционы поворота с малым радиусом; $\Phi^{Б}_{п1}$ и $\Phi^{Б}_{п2}$ — фрикционы поворота с большим радиусом. В трансмиссии механизмы поворота одинаковы на обоих бортах.

Трансмиссия работает следующим образом. При прямолинейном движении мощность от двигателя передается через главный фрикцион (ГФ), коническую пару (включается муфтой *2* коническая шестерня *3*), промежуточный вал (валы *7* и *28*), приводные шестерни *20* и *27* на дополнительный вал *26*, а через приводные шестерни *11* и *21* — на вал *24*. Валы *24* и *26* вращаются одновременно и постоянно, но с разными скоростями. Вал *26* получает замедленное вращение, вал *24* — ускоренное.

С вала *26* через поочередно включаемые синхронизаторы *8*, зубчатые венцы *4* и *10* передается основной поток мощности на зубчатые венцы грузового вала *13* и *14* (соответственно II и III передачи) и к эпициклам МП, а дополнительный поток мощности через включенные одинаковые фрикционы $\Phi_{у1}$ и $\Phi_{у2}$ и одинаковые зубчатые передачи — к солнечной шестерне *17* (фрикционы $\Phi_{п1}$, $\Phi_{п2}$, $\Phi^{Б}_{п1}$, $\Phi^{Б}_{п2}$ в это время выключены). С водила *15* суммарный поток мощности передается к ОТ и БП. С вала *24* через поочередно включаемые синхронизаторы *8*, зубчатые венцы *4*, *10* предается основной поток мощности на зубчатые венцы *13*, *14* (соответственно IV и V передачи) и к эпициклам МП, а дополнительный поток мощности — через включенные одинаковые фрикционы $\Phi_{у1}$ и $\Phi_{у2}$ и одинаковые зубчатые передачи к солнечной шестерне *17* (фрикционы $\Phi_{п1}$, $\Phi_{п2}$, $\Phi^{Б}_{п1}$, $\Phi^{Б}_{п2}$ в это время выключены).

На I передаче включением зубчатой муфты *22* останавливается грузовой вал *23* и одновременно включаются два фрикциона $\Phi_{у1}$ и $\Phi_{у2}$ (высшая скорость прямолинейного движения на I передаче, например, $V_1 = 8$ км/ч), или два фрикциона $\Phi_{п1}$ и $\Phi_{п2}$ — низшая скорость прямолинейного движения на I передаче (например, $V_1 = 2$ км/ч), или два фрикциона $\Phi^{Б}_{п1}$ и $\Phi^{Б}_{п2}$ — промежуточная скорость прямолинейного движения на I передаче (например, $V_1 = 6$ км/ч). При прямолинейном движении назад мощность передается через ведомую коническую шестерню *29*, включаемую зубчатой муфтой *2* (механизм реверса).

На каждой передаче в трансмиссии имеется два расчетных радиуса поворота, больших колеи машины. Для поворота с первым расчетным радиусом (малым) поворота на каждой передаче необходимо на отстающем борту выключить фрикцион прямолинейного движения $\Phi_{у1}$ или $\Phi_{у2}$ и одновременно включить один фрикцион поворота $\Phi_{п1}$ или $\Phi_{п2}$ в зависимости от направления поворота. Поворот осуществляется при этом на всех передачах за счет разницы скоростей вращения в одном направлении гусеничных лент (например, $\Delta V = 4$ км/ч), обеспечиваемой двумя разными скоростями вращения дополнительных валов *24* и *26*, зависящих от приводных шестерен *11*, *20* и *21*, *27*, передаточные числа между которыми влияют на выбор передаточных чисел в редукторной части КПП и одновременно на скорости вращения солнечных шестерен МП. Для поворота со вторым расчетным радиусом (большим) поворота на каждой передаче необходимо на отстающем борту выключить фрикцион прямолинейного движения $\Phi_{у1}$ или $\Phi_{у2}$ и одновременно включить один фрикцион поворота $\Phi^{Б}_{п1}$ или $\Phi^{Б}_{п2}$ в зависимости от направления поворота. Поворот осуществляется при этом на всех передачах за счет разницы скоростей вращения в одном направлении гусеничных лент (например, $\Delta V = 2$ км/ч), обеспечиваемой двумя разными скоростями вращения промежуточного и дополнительного валов.

Имеется возможность в МПП получать третий расчетный радиус поворота на каждой передаче за счет включения на разных бортах фрикционов $\Phi_{п1}$ и $\Phi^{Б}_{п2}$ или $\Phi^{Б}_{п1}$ и $\Phi_{п2}$.

Включенные зубчатые пары в дополнительном потоке мощности механизма поворота и при прямолинейном движении и при повороте в обе стороны вращаются в одну сторону на обоих бортах в направлении вращения эпициклических шестерен, что обеспечивает более рациональное распределение нагрузок в трансмиссии при ее работе. При этом на каждом борту машины фрикционами МП включается только одна зубчатая связь.

Кинематические параметры трехвальной двухпоточной механической трансмиссии с пятискоростной КП и фрикционными элементами в планетарном механизме с двумя расчетными радиусами поворота на каждой передаче для ГМ массой 12 т, мощностью двигателя $N_{дв}$ = 300 л.с. (225 кВт)

Передача	Передаточное число	Расчетные радиусы, м		Скорость движения ГМ, км/ч	Передаточное число БП	Колея ГМ B, м
		R_{min}	R_{max}			
I	6,3465	2,5	9,7	6,3	5,00	2,43
II	1,9550	8,0	31,0	20,3		
III	1,2175	12,6	50,0	32,6		
IV	0,8164	19,0	75,0	48,5		
V	0,5975	25,7	105,0	66,4		
ЗХ	7,6430	2,5	9,5	5,2		

Из теории известно, что расчетные радиусы (радиусы, при которых фрикционные элементы МП трансмиссии не буксуют) вычисляют по формуле

$$R_р = B\frac{i}{i-1}, \quad (1)$$

где B — расстояние между серединами гусениц;

i — отношение скоростей движения забегающей и отстающей гусениц при полностью включенных фрикционных элементах механизма поворота.

Поскольку бортовые передачи слева и справа одинаковы, то отношение скоростей движения гусениц равно отношению передаточных чисел МПП в замедленном и ускоренном режимах на одной и той же передаче

$$i = \frac{i_{МПП(зам)}}{i_{МПП(уск)}}. \quad (2)$$

Передаточное число любой передачи есть отношение частоты вращения на входе к частоте вращения на выходе. В нашем случае

$$i_{МПП} = \frac{n_{вх}}{n_{вых}}. \quad (3)$$

Используем уравнение кинематики планетарного ряда

$$n_с = -Kn_э + (1+K)n_в, \quad (4)$$

где $n_с$, $n_э$, $n_в$ — вращение солнечной шестерни эпицикла и водила;

K — параметр планетарного ряда (отношение числа зубьев эпицикла к числу зубьев солнечной шестерни).

Выражая частоты вращения всех звеньев планетарного ряда через частоту вращения на входе, получим:

$$n_{вх}\frac{1}{i_1} = -K\frac{n_{вх}}{i_2} + (1+K)n_{вых}. \quad (5)$$

Откуда

$$i_{МПП} = \frac{1+K}{\frac{1}{i_1}+\frac{K}{i_2}}. \quad (6)$$

В последнем выражении:

$$i = i_{кон}i_{прив}i_{доп},$$

где $i_{кон}$, $i_{прив}$, $i_{доп}$ — передаточные числа входной конической пары, привода к дополнительному валу (ускоренного или замедленного движения) и дополнительного потока мощности от дополнительного вала (ускоренного или замедленного движения) к солнечной шестерне суммирующего планетарного ряда;

$$i_2 = i_{кон}i_{прив}i_i,$$

где i_i — передаточное число в коробке передач к эпициклам суммирующих планетарных рядов.

Для расчета текущих значений крутящего момента фрикциона $M_ф$ (соответственно условиям поворота) используют зависимости из работ [3, 4].

Для быстроходной ГМ массой 17 т с длиной опорной поверхности $L = 4{,}2$ м, шириной колеи машины $B = 2{,}74$ м с двухпоточным недифференциальным МП расчетные радиусы поворота на забегающей гусенице на легком грунте составляют:

$$R_2^{\mathrm{I}} = 1{,}89B;$$

$$R_2^{\mathrm{II}} = 4{,}77B;$$

$$R_2^{\mathrm{III}} = 7{,}27B;$$

$$R_2^{\mathrm{IV}} = 10{,}42B;$$

$$R_2^{\mathrm{V}} = 15{,}92B.$$

Действительные радиусы поворота с учетом юза и буксования гусениц в зависимости от передачи составляют:

I —1,46B;
II —5,1B;
III — 7,25B;
IV — 10,5B;
V — 14,65B.

Кинематические параметры трехвальной двухпоточной механической трансмиссии с пятискоростной КП и фрикционными элементами в планетарном механизме с двумя расчетными радиусами поворота на каждой передаче для ГМ массой 12 т, мощностью двигателя $N_{\text{дв}} = 300$ л.с. (225 кВт) представлены в таблице.

Как видно из таблицы, с увеличением номера передачи (увеличение скорости движения машины) расчетные радиусы поворота увеличиваются, что соответствует требованиям, предъявляемым к многорадиусным механизмам поворота.

Вывод

Новый недифференциальный механизм поворота существенно повышает функциональные свойства узла за счет использования трех дополнительных пар к суммирующему планетарному ряду, дает возможность получить 2-й и 3-й расчетные радиусы поворота на каждой передаче и улучшает его конструктивный подбор в трансмиссии.

Трансмиссия с новым МП компактна, надежна в работе, обеспечивает высокую поворотливость ГМ.

Библиографический список

1. **Платонов В.Ф., Коробкин В.А., Кожевников В.С., Платонов С.В.** Многоцелевые гусеничные машины. М.: Машиностроение, 1998, 341 с.

2. **Труханов В.М., Зубков В.Ф., Крыхтин Ю.И., Желтобрюхов В.Ф.** Трансмиссии гусеничных и колесных машин. М.: Машиностроение, 2001. 736 с.

3. **Расчет** и конструирование гусеничных машин / Под ред. проф. Н.А. Носова. Л.: Машиностроение, 1977. 556 с.

4. **Зубков В.Ф.** Тяговый расчет гусеничной машины. Метод. указания. Волгоград: ВолгПИ, 1983. 23 с.

5. **Труханов В.М., Крыхтин Ю.И.** Разработка фрикционных дисков с комбинированной поверхностью, изготавливаемых с использованием автоматизированной технологии плазменного напыления // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. № 3. С. 13—18.

ПИТАНИЕ СБОРОЧНЫХ ЛИНИЙ. КОМПЛЕКТАЦИЯ. СКЛАДИРОВАНИЕ. УПАКОВКА

УДК 67.02

А.В. Королев, А.А. Королев, *д-ра техн. наук,* **Е.В. Мухина**
(Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А)
E-mail: lento4ka.2013@mail.ru

Современный метод комплектования прецизионных изделий типа подшипников качения*

Рассматрена комплектация подшипников качения на основе селективного метода. Самым распространенным является способ селективной сборки, основанный на групповой взаимозаменяемости. Предложено использовать метод индивидуального подбора, так как элементарные расчеты показывают, что они обеспечивают максимально возможную собираемость изделий.

Discusses the picking roller bearings on the basis of a selective method. The most common method is selective Assembly, based on the group interchangeability. It is proposed to use the method of individual selection as elementary calculations show that they provide the best possible collection of products.

Ключевые слова: комплектация подшипников, селективный метод, индивидуальный подбор, собираемость.

Keywords: equipment bearings, selective method, individual selection, collection.

Метод селективной сборки, основанный на групповой взаимозаменяемости, самый распространенный. В технической литературе и на практике имеется множество положительных примеров применения селективной сборки, в том числе для радиальных и радиально-упорных однорядных, шариковых двухрядных подшипников и дуплексов, велосипедных и др. Предложено множество средств автоматизации процесса сборки и комплектования подшипников, разработаны средства программного обеспечения селективной сборки, предложено множество новых способов сборки и соответствующих устройств.

Однако такой большой объем работ в области совершенствования процессов комплектования и сборки прецизионных изделий типа подшипников качения скорее показывает наличие нерешенных проблем, чем благополучное состояние вопроса. И основная проблема заключается в необходимости дальнейшего совершенствования теоретических основ, математического и программного обеспечения селективной сборки.

Например, в работе [1] показана высокая эффективность селективной сборки различных приборов и радиоэлектронной аппаратуры, рассмотрены основы системного проектирования и оптимизации технологических процессов и систем сборки. Приведены структурные схемы сортировочных и комплектовочных автоматических установок. Однако авторы этих работ справедливо указывают на ограничения в применении селективной сборки:

- необходимость использования высокоточных средств сортировки;
- невозможность применения при мелкосерийном и единичном производствах;
- сложность поставки запасных частей и ремонта изделий,
- появление значительного незавершенного производства;
- необходимость четкой организации измерения, сортировки, хранения, транспортировки и сборки деталей;

* Пат. 2392511 Российская Федерация, **МПК** F 16 C 43/04. **Способ комплектования шариковых механизмов** / Королев А.В., Королев А.А., Изнаиров Б.М.; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Саратовский государственный технический университет. № 2009112109/11; 01.04.2009; опубл. 20.06.2010.

Исследования проведены на Саратовском подшипниковом заводе.

• увеличение амортизационных отчислений на контрольно-измерительное оборудование и затрат на контроль и др.

Тем не менее авторы считают метод селективной сборки единственно возможным для достижения требуемой точности при производстве электронной аппаратуры и вычислительной техники в условиях массового производства.

Появились работы [2, 3], показывающие повышенную эффективность селективной сборки методом индивидуального подбора комплектуемых деталей. Такая сборка обеспечивает бóльшую собираемость деталей, чем групповая сборка, и наименьшие затраты на комплектование. Однако этот метод не получил пока должного теоретического обоснования и необходимого методического обеспечения. Поэтому на практике, к сожалению, он используется редко.

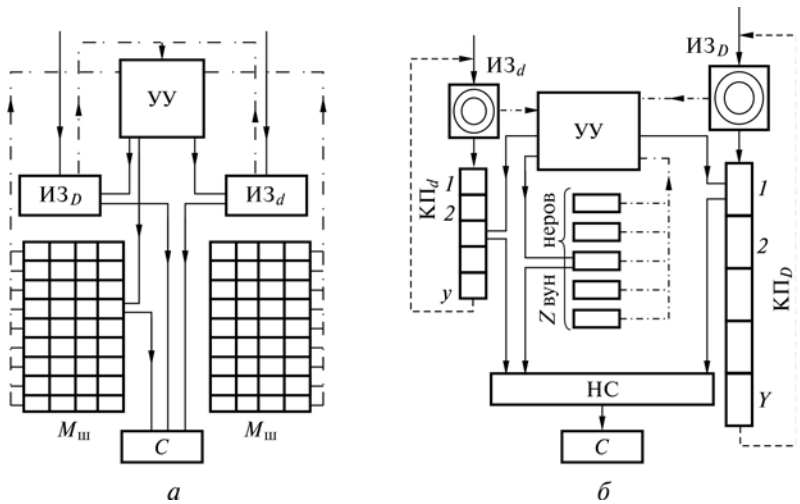
На взгляд аворов, наибольший практический интерес представляют схемы комплектования подшипников, основанные на индивидуальном подборе поступающих на рабочие позиции деталей, так как элементарные расчеты показывают, что они обеспечивают максимально возможную собираемость изделий. Некоторые из таких схем приведены на рисунке.

При комплектовании по схеме *а* на измерительные позиции $ИЗ_D$ и $ИЗ_d$ поступают по одному наружному и внутреннему кольцу. Измерительные приборы фиксируют разность диаметров колец, определяют принадлежность его той или иной размерной группе и, если в бункерах $M_ш$ имеются соответствующие шарики, то они вместе с кольцами подаются на сборку. Таким образом, критерием выбора шариков является разность диаметров дорожек качения (желобов). Памяти УУ не требуется. Работа УУ происходит на элементах сравнения типа "да", "нет". Эти факторы в значительной степени влияют на выбор целесообразной схемы комплектования при автоматизации процесса.

В Японии способ, основанный на этой схеме, получил название "Способа соответствующего выбора" [4]. На нем основана работа автоматической установки для сборки шариковых радиальных подшипников, изготовляемой фирмой "Токио Сейлицу".

Основным недостатком этой схемы является необходимость наличия большого числа различных размерных групп тел качения ($N_ш = N_D + N_d - 1$), что на практике обеспечить очень сложно. Устройства, работающие по этой схеме, сложны в конструкции, а из-за сложности обеспечения подачи на комплектование шаров нужных размеров кольца многократно поступают на комплектовочную позицию, из-за чего производительность комплектования невелика. Например, если принять, что поле рассеяния при изготовлении шариков составляет 2...6 мкм, допуск на диаметры колец подшипника — 50 мкм, интервал группы размеров колец — 2 мкм, допуск на диаметр тел качения в одной размерной группе — 1 мкм, то число групп размеров колец должно составлять 25, а число групп шаров — 49.

Можно несколько сократить число групп шариков $N_ш$ за счет крайних групп с меньшей вероятностью их использования на сборке. Это незначительно сказывается на снижении вероятности сборки. Зарубежные подшипниковые



Схемы комплектования подшипников индивидуальным подбором групп деталей: *а* — с одной позицией колец; *б* — с несколькими позициями в накопителях

фирмы, используя подобную схему комплектования, сокращают число групп шариков до числа размерных групп колец: $N_ш = N_D = N_d$, и даже меньше.

Однако все эти модернизации не снимают главного недостатка рассматриваемой схемы — усложнение технологического процесса изготовления шариков, его подчинение точностным характеристикам обработки дорожек качения колец подшипников и большой объем незавершенного производства. Эти недостатки не устраняются даже внедрением в производство новой элеваторной технологии доводки шариков, которая позволяет уменьшить разноразмерность до 1 мкм, тем более, что при этой технологии появляется излишнее число шаров одного размера.

Для уменьшения числа групп шариков М.А. Бонч-Осмоловский и В.Ф. Набоков предложили способ автоматического комплектования подшипников, по которому в Z бункерах шариков (БШ) размешаются шарики разных размерных групп, но число этих групп сокращается за счет наличия комплектовочных позиций (КП) наружных и внутренних колец подшипника.

Расчет вероятности сборки $P_{сб}$ по данной схеме авторы выполнить не смогли, так как необходимо оценить различные возможные наборы из Z групп шариков в БШ по их собираемости с наружными и внутренними кольцами, находящимися на КП. Решение для частного случая, когда принято равновероятное распределение колец и шариков, и $N_D+N_d-1=N_ш$ приведено в работе [3].

Расчеты показали, что требуемое число групп размеров шаров при такой схеме существенно снижается по сравнению с предыдущей, вероятность сборки повышается и зависит от числа накопителей колец и числа групп шаров. Соответствующим образом подобранные конструктивные решения автомата могут обеспечить достаточно высокую вероятность сборки. При этом незавершенное производство будет составлять небольшой процент по всем деталям, что, безусловно, положительно характеризует данный способ комплектования.

Существенным достоинством схем является более равномерное использование различных групп шариков, но самое главное преимущество этой схемы состоит в том, что точность технологического процесса изготовления шаров здесь малозависима от точности обработки колец и никакого искусственного смещения центра группирования в различных обработочных партиях шаров не требуется.

На практике использование этой схемы существенно ограничивается отсутствием достаточно точной для практики вероятностной математической модели процесса комплектования подшипников и построенной на ее основе соответствующей методики комплектования.

Авторам представляется, что несмотря на некоторые отмеченные недостатки методики подборочного комплектования подшипников, она все же заслуживает самого пристального внимания и дальнейшего развития. Только при индивидуальном подборе деталей в процессе комплектования обеспечивается наибольшая собираемость изделий, а отсутствие размерных групп деталей существенно может упростить конструкцию комплектовочного автомата, так как отпадает необходимость иметь магазины деталей различных размерных групп. И хотя сам процесс комплектования усложняется, но при наличии быстродействующей вычислительной техники и соответствующего программного обеспечения метод подборочного контроля открывает блестящие перспективы для совершенствования технологии сборки высокоточных изделий.

Библиографический список

1. **Буловский П.И., Крылов Г.В., Лопухин В.А.** Автоматизация селективной сборки приборов. Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1978. 232 с.

2. **Коганов И.А., Семин В.В., Тарханов С.К.** Основы безгрупповой селективной сборки // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1992. № 2. С. 64—72.

3. **Бонч-Осмоловский М.А., Набатов В.Ф.** Автоматизация комплектования радиальных шарикоподшипников с применением вычислительных машин. Серия ОС-Х. М.: ЦИНТИАМ Госкомитета по машиностроению при Госплане СССР, 1964. 82 с.

4. **Яматото Тосихаро.** Устройство для управления автоматической сборкой. Кокай Токке Кохо. Сер. 2(3). 1992. С. 259—279.

5. **Бонч-Осмоловский М.А.** Селективная сборка. М.: Машиностроение, 1974. 144 с.

ИНФОРМАЦИЯ

Указатель статей, опубликованных в 2014 году

№

Ресурс машин и конструкций

Погодаев Л.И., Кузьмин А.А., Чулкин С.Г Повышение надежности зубчатых передач путем электроэрозионной обработки поверхности зубьев 7
Шаломов В.И. Вспомогательный турбонасос с ротором на газовых опорах 5

Экономика и организация сборочного производства

Аристова Н.И. Расчет временных затрат на полуавтоматическую сборку годного узла 5
Аристова Н.И. Расчет стоимости повторной полуавтоматической сборки годного узла 10
Балтаев Т.А., Салимов Б.Н., Королев А.А., Королев А.В. Эффективность ультразвукового безабразивного суперфиниширования колец упорных подшипников 12
Иванов А.А. Оптимизация использования ресурсов промышленного предприятия методом линейного программирования 9
Розинов А.Я., Вакулов П.С., Анухин В.И. Технико-экономическая эффективность совершенствования сборки судовых трубопроводов на основе технологического применения сильфонных сдвиго-поворотных компенсаторов 9

Технологичность конструкции

Ирзаев Г.Х., Адамов А.П. Оценка влияния конструктивной преемственности на технологичность электронных приборов. 2
Микаева С.А., Микаева А.С., Ашрятов А.А., Федоренко А.С., Вдовин М.В. Сборка многофункциональных световых приборов переменной цветности с использованием светодиодов. 1
Розинов А.Я., Вакулов П.С. Размерный анализ собираемости и монтажа конструктивно и технологически усовершенствованных сдвиго-поворотных сильфонных компенсаторов 8
Труханов В.М., Крыхтин Ю.И. Повышение технологичности и облегчение сборки многовального механизма передач и поворота для легкой гусеничной машины 12

№

Холодкова А.Г. Технологичность конструкции изделий в автоматической сборке 6

Сборочное оборудование и его элементы

Авцинов И.А., Кристаль М.Г., Маликов Д.Ю. Классификация устройств с газовой несущей прослойкой 2
Байнева И.И., Байнев В.В. Установка для исследования и измерения аберрационных характеристик отражательной оптической системы. 2
Давыдова Е.В., Прейс В.В., Провоторова К.Н. Математическая модель производительности дискового бункерного загрузочного устройства с тангенциальными профильными гнездами 10
Елагин М.Ю., Сидоров Е.М. Определение минимальной частоты вращения ротора пневматического гайковерта. 9
Железникова О.Е., Амелькина С.А., Микаева С.А., Микаева А.С. Установки обеззараживания воздуха в системах вентиляции серии "Мегалит". 10
Житников Б.Ю., Житников Ю.З. Сборочный автомат для установки упругих уплотнительных колец в наружные канавки цилиндрических деталей 7
Измайлов А.Д., Чан КуангТьяу, Плешаков А.А., Горелова А.Ю., Кристаль М.Г. Способ измерения диаметра номинально цилиндрического отверстия и устройство для его осуществления. 6
Кочкин Е.В., Матвеев Е.В., Медарь А.В., Меденков В.И. Автоматизированный стенд компьютерного контроля инерционных характеристик изделий в сборочном производстве. 10
Микаева С.А., Микаева А.С., Железникова О.Е., Амелькина С.А. Облучатели бактерицидные . . . 11
Молчанов В.И. Конструирование и изготовление червячных колес из капролона для приводов промышленных и транспортных машин. 6
Чан К.Т., Плешаков А.А., Горелова А.Ю., Измайлов А.Д., Федоров П.А., Кристаль М.Г. Пневматическое сортировочное устройство 6
Шибитова Н.В., Шибитов Н.С., Голованчиков А.Б., Полупан И.В. Новая конструкция массообменной тарелки с переливным устройством подвесного типа 10

№

Шишкарев М.П., Ву Тьен Зунг. Практическая точность срабатывания адаптивной фрикционной муфты с переменным значением коэффициента усиления 3

Современные технологии сборки

Березин С.Я., **Кулеш И.М.** Влияние ультразвука на контактные напряжения деформации материала в процессах сборки соединений с крепежно-резьбообразующими деталями . . 9
Воробьев Е.И., Дорофеев В.О. Реализация ориентирующего движения захватного устройства манипулятора поступательными приводами. 4
Жарков Г.Е. Метод сборки изменением положения центра тяжести. 11
Иванов А.А. Автоматизация подачи хрупких изделий с использованием струйной техники . . . 4
Иванов А.А. Автоматизация сборки печатных плат 2
Иванов А.А. Аналитические условия автоматической сборки 7
Иванов А.А. Моделирование сборочных процессов и систем. 1
Иванов А.А. Оптимизация управления технологическим процессом сборки методом динамического программирования 8
Иванов А.А. Основные принципы автоматической сборки 9
Иванов А.А. Сборка печатающих головок струйных принтеров 6
Иванов А.А. Системы автоматической сортировки деталей на два транспортных потока. 5
Иванов А.А. Способы базирования сопрягаемых деталей при сборке 11
Иванов А.А. Структура подвижной сборки 12
Ковалев В.Г. Совместимость сборочных операций электромонтажа накруткой и бандажирования накруткой. 3
Краева Е.А., Ломакин В.О. Гидродинамическое моделирование эффекта "запирания" дроссельных каналов и его сравнение с экспериментальными данными 12
Кузнецова С.В. Фазовый портрет способа автоматизированной сборки, реализующего синхронное позиционирование 6
Кузнецова С.В., Симаков А.Л. Фазовый портрет способа автоматизированной сборки, осуществляющего стабилизацию движения детали относительно поисковой траектории. 5
Руднева Л.Ю. Современные методы оценки жесткости высокоточных сложнопрофильных деталей при сборке агрегатов специальных изделий 7
Руднева Л.Ю. Технология сборки высокоточных сложнопрофильных деталей с упругим элементом по равножесткости 4

№

Технологическая оснастка для сборки

Ашрятов А.А., **Микаева С.А.**, **Микаева А.С.** Прибор для контроля сборки компактных люминесцентных ламп 2
Гоцеридзе Р.М., Румянцев С.В. Применение системы подвеса типа "индуктивно-емкостный мост" для измерения параметров неуравновешенности поплавкового чувствительного элемента. 11
Ерохин В.В. Систематизация станочных приспособлений и методология определения их проектных параметров и эксплуатационных свойств 4
Кочкин Е.В., Матвеев Е.В., Медарь А.В., Меденков В.И. Автоматизированный стенд компьютерного контроля массовых характеристик изделий в сборочном производстве . . . 11
Розинов А.Я., Догадин А.В., Бескровный А.Ю. Сборка соединений обшивки корпусов судов с применением специализированных сборочных устройств 4

Сборочно-сварочные работы. Пайка

Бохоров И.О., Карабанов В.В. Пайка решетчатых и сотовых конструкций 8
Вытнов Ю.В., Александрин А.Г., Голубев С.В., Герасимов Е.А., Медведев Н.П. Опыт применения электронно-лучевой сварки при изготовлении теплообменного оборудования в ОАО "ОКБМ Африкантов" 4
Карабанов В.В., Бохоров И.О. Пайка теплообменников. 4

Питание сборочных линий. Комплектация. Складирование. Упаковка

Бурцев Д.В., Давыдова Е.В., Прейс В.В. Математическая модель производительности дискового бункерного загрузочного устройства с радиальными профильными гнездами. . . . 9
Иванов А.А. Логистическая задача распределения грузов с помощью транспортных роботов . 3
Сазонов Д.А. Структура множества путей комплектования при селективной сборке изделий типа "подшипник". 11

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Адакин В.А. Обеспечение точности прямоугольных шлицевых профилей на валах при многопроходном холодном пластическом формообразовании 5
Герасимов Д.Г. Активный контроль при проведении сборочных операций. 8
Гоцеридзе Р.М. Пути повышения точности при фазовом методе измерения параметров статической неуравновешенности изделий. 5

№

Житников Ю.З., Житников Б.Ю. Сравнительный анализ достижимой точности способов обеспечения и контроля осевых сил затяжки резьбовых соединений одношпиндельными гайковертами 8
Захаров О.В., Усынин С.М. Центрирование заготовок по окружности минимальной зоны при сборке и обработке. 10
Золотарев Ю.Н. Прогнозирование качества собираемой авиационной конструкции 3
Тымчик С. Г. Погрешности сборки когерентных оптических спектроанализаторов 3
Черепахин А.А., Виноградов В.М. Особенности холодного калибрования зубчатых колес 6

Разборка. Ремонт

Волков Г.М. Композиты для санации изношенного оборудования заготовительных производств в машиностроении 2

Экология и безопасность сборочных работ

Микаева С.А., Микаева А.С. Системы обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением. 7

В помощь конструктору, технологу

Безвесильная Е.Н., **Нечай С.О., Остапчук А.А., Ткачук А.Г.** Определение методических погрешностей и цифровое моделирование сборочной авиационной гравиметрической системы. 9
Безвесильная Е.Н., Ткачук А.Г. Авиационная гравиметрическая система 6
Виноградов А.Н., Липатов С.И., Марголит Р.Б. Проблемы сборки редукторов с арочными зубчатыми передачами 5
Денисов Ю.В., Капленко М.В. Математическое моделирование при сборке прецизионных датчиков ускорения 2
Денисов Ю.В., Капленко М.В. Улучшение процесса сборки прецизионного интегрирующего акселерометра 3
Житников Б.Ю., Житников Ю.З. Определение величины пластической деформации поверхностей соударяемых деталей 5
Измайлов А.Д., Плешаков А.А., Горелова А.Ю., Кристаль М.Г. Повышение точности измерения диаметров отверстий деталей 5
Ламин И.И. Укрупненный метод проектирования технологических процессов сборки изделий в автостроении 2
Маслов А.Р. Динамические характеристики сборок "шпиндель металлорежущего станка — инструментальная оправка" 11
Микаева С.А., Ашрятов А.А., **Косицын А.А.** Сборка модуля полупроводниковых источников света и методы его охлаждения 10

№

Микаева С.А., Микаева А.С. Автоматизированная сборка компактных люминесцентных ламп 2
Осетров В Г., Слащев Е.С. Совершенствование расчетов размерной цепи при использовании метода групповой взаимозаменяемости . . . 7
Осипович Д.А., Ярушин С.Г., Червоных С.А. Анализ направлений модернизации методики определения фактической площади проходного сечения соплового аппарата по данным оцифровки на измерительном комплексе ATOS. 3
Отений Я.Н., Никифоров Н.И., Носков М.Ю. О возможности совмещения черновой и чистовой расточки глубоких отверстий 12
Розинов А.Я., Поляков Ю.И. Совершенствование методики прогнозирования производительности процессов изготовления судовых конструкций, основанных на применении средств технологического оснащения с ручным приводом их действия 6
Розинов А.Я., Шатилов В.А., Логунов В.В. Оценка целесообразности изменения последовательности сборки и сварки монтажных соединений тонколистовых судовых конструкций 3
Сорокин М.Н., **Колтунов И.И., Сазонов Д.А., Урманова Д.И.** Математическая постановка задачи комплектования при селективной сборке изделий типа "подшипник" 3
Сорокин М.Н., Колтунов И.И., Урманова Д.И. Определение минимального допуска на параметр сопряжения при селективной сборке изделий типа "вал—втулка" при условии полной собираемости 10
Спиридонов О.В. Анализ соединений деталей при разработке технологических процессов сборки. 1
Труханов В.М., Крыхтин Ю.И. К вопросу разработки двухпоточного механизма поворота для легких гусеничных машин 10
Хайруллин И.Х., Вавилов В.Е., Бекузин В.И., Шавалеева Ю.И. Аксиальные силы в бесконтактных двигателях с высококоэрцитивными постоянными магнитами 1
Шаломов В.И., Виноградов В.С. Особенности конструкции опытно-промышленного образца шпиндельного узла на газостатических опорах для прецизионных внутришлифовальных станков. 1
Шерышев А.Е., Шерышев М.А., Трунова Е.А. Модель свободного термоформования изделий с относительно малой глубиной формования в произвольной пройме 5
Широкий А.В., Кристаль М.Г. Компьютерное моделирование потоков предметов производства в автоматических сборочных системах 10
Широкий А.В., **Кристаль М.Г.** Модели распределения случайных интервалов времени

№

между предметами производства в транспортных потоках сборочного оборудования 9
Щенятский А.В., **Чухланцев Е.С.** Экспериментальная оценка нагрузочной способности поликонтактных неравножестких соединений с натягом 2

Подготовка специалистов

Лагунова Ю.А., **Калянов А.Е.** Применение гидропневмоаккумуляторов в горных машинах . . 1

В порядке обсуждения

Григорьев В.С., **Миронычев Н.А.** Описание системы допусков и посадок с позиции синергетики 5

Информация

Иванов А.Н. Термообработка—2013 1
Международный научно-технический семинар "Прогрессивные технологии в машиностроении - ПТМ-2014" 10
Указатель статей, опубликованных в 2013 году. 1

Соединение деталей машин

Березин С.Я., Карпов А.Р. Резьбовые соединения с периодическим контактом волнистого винтового профиля одной из деталей 11
Заярный С.Л., **Ильяшенко А.А.** Исследование гидропрессового способа сборки-разборки конических соединений с увеличенными натягами 8
Терехин Н.А., Ямников А.С., Ямникова О.А. Взаимное влияние погрешностей формы и расположения сопрягаемых поверхностей на относительную площадь пятна контакта 10

№

Разное

Бохоров И.О., Карабанов В.В. Изготовление и пайка декоративных предметов интерьера 9
Вавилов В.Е., Исмагилов Ф.Р., Хайруллин И.Х. Несимметричные короткие замыкания в быстроходных магнитоэлектрических генераторах на гибридных магнитных подшипниках 7
Емельяненко А.А., Бабкин С.Г. Концепция применения пластиков для изготовления корпусов и шасси гидроакустических приборов. 7
Иванов А.А. Выработка управляющих решений в условиях неполной информации. 8
Козлов А.А., Смоленцев В.П., Клименченков А.А. Нанесение информации растровым инструментом на детали с эластичным диэлектрическим покрытием. 3
Кристаль М.Г. Что такое сборка и кому она нужна 12
Микаева С.А., **Амелькина С.А., Железникова О.Е., Амелькин Э.А.** Разработка и сборка экспериментальной исследовательской установки со светодиодными источниками света. 7
Микаева С.А., **Микаева А.С.** Адаптивная модель сборки комплекта "люминесцентная лампа — импульсный электронный полупроводниковый пускорегулирующий аппарат высокой частоты" 5
Труханов В.М., Крыхтин Ю.И. Разработка и сборка механизма переключения передач с однотяговым силовым приводом для многовальной коробки передач легкой гусеничной машины 12
Шишкарев М.П., Угленко А.Ю. Анализ эксплуатационных характеристик вариантов адаптивной фрикционной муфты с раздельным силовым замыканием 8

ООО "Издательство **Машиностроение**", 107076, Москва, Стромынский пер., 4
Учредитель ООО "Издательство **Машиностроение**".
Адрес электронной почты издательства: **mashpubl@mashin.ru**;
редакции журнала: **sborka@mashin.ru, http://www.mashin.ru**
Телефон редакции журнала: (499) 269-54-98, факс 268-48-97.
Технический редактор *Патрушева Е.М.* *Корректор Сажина Л.И.*
Сдано в набор 03.12.2014. Подписано в печать 20.01.2015. Формат 60 × 88 1/8.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Адвансед солюшнз". Сайт: **www.aov.ru**
Отпечатано в ООО "Канцлер", 150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.